

GESCHICHTE
DER ERDE
UND DES LEBENS

VON

JOHANNES WALTHER

O. Ö. PROFESSOR DER GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE
AN DER UNIVERSITÄT HALLE

MIT 353 ABBILDUNGEN



LEIPZIG
VERLAG VON VEIT & COMP.

1908

Inhalt

	Seite
1. Die Eigenschaften der Erde	I
2. Die geologischen Kräfte	18
3. Die Stellung der Erde im Sonnensystem	34
4. Die Bildung des Mondes und die Meteoriten	43
5. Die Bildung und Veränderung der Erdrinde	54
6. Das Weltmeer	66
7. Das organische Leben	76
8. Die Atmosphäre und das Klima	92
9. Die eruptiven Vorgänge der Tiefe	106
10. Der Vulkanismus	120
11. Die Dokumente der Erdgeschichte	140
12. Die geologische Zeitrechnung	160
13. Die untere Grenze der Fossilführung	172
14. Die Spuren der algonkischen Zeit	185
15. Die kambrische Zeit	195
16. Das Aufblühen der Tierstämme im Silur	221
17. Das alte rote Nordland	254
18. Das Devonmeer	272
19. Das Productusmeer	286
20. Die Faltung der Erdrinde und die Bildung der Steinkohlen	301
21. Das Gondwanaland	338
22. Das Triasmeer	350
23. Der Kampf der nordischen Wüste mit dem Triasmeer .	366
24. Das Jurameer	385

	Seite
25. Die Entwicklung der Reptilien in Nordamerika	411
26. Die Kreidezeit und das große Sterben	435
27. Die Tertiärzeit	452
28. Die diluviale Schneezeit	492
29. Der vorgeschichtliche Mensch	517
30. Der Gang der Erdgeschichte	539
Übersicht der Abbildungen	555
Sachregister	561

Die Eigenschaften der Erde

Unaufhaltsam fließt das Weltgeschehen an uns vorüber. Wohl leuchtet uns jeden Abend derselbe Sternenhimmel, aber die Sterne haben ihren Platz verändert, und niemals gruppieren sie sich wieder in derselben Weise; neue Wolken ziehen täglich über uns dahin, neue Wassertropfen rinnen im Strom an uns vorbei, und in immer neue Formen kleidet sich das Landschaftsbild.

Unsere Sinne sind nicht geübt, um die bleibenden Wirkungen aller hierbei tätigen geheimnisvollen Kräfte zu verfolgen. Nur wenn sie gewalttätig auftreten, wenn Wolkenbrüche weite Flächen verheeren, wenn ein Bergsturz die Gestalt des Berges verändert, wenn Erdbeben den Boden zerklüften, oder wenn ein neuer Vulkan entsteht, dann erkennt jeder, daß die Erde einem beständigen Wandel unterworfen ist.

Sobald wir uns aber geologisch schulen, unsere Sinne schärfen und über die Grenzen eines Menschenalters hinaus in Jahrhunderte und Jahrtausende blicken, dann fügen sich die kleinen, in der Regel kaum erkennbaren Veränderungen zu großen Ketten aneinander, die Gegenwart erscheint als flüchtiger Augenblick in einer unübersehbar langen Zeitfolge, und die unbedeutenden Wirkungen schwacher Kräfte summieren sich zu gewaltigen Umgestaltungen.

Indem wir uns weiterhin darüber klar werden, daß die geologischen Veränderungen der Gegenwart nur die letzten Nachklänge ähnlicher Vorgänge sind, die unsren Planeten seit Jahrtausenden und Jahrmillionen gewandelt haben, gestaltet sich uns ein neues Weltbild. Der heutige Zustand der Erde erscheint uns als die letzte vorübergehende Phase eines langen Entwicklungsvorganges. Unser Blick dringt in die weiten Fernen einer unbegrenzten Vergangenheit, und der Wunsch regt sich, deren frühere Zustände Schritt für Schritt zu verfolgen.

Unter allen Fragen, die den Geist denkender Menschen beschäftigt haben, ist wohl keine häufiger gestellt und verschiedenartiger beantwortet worden, als die nach dem Urzustande und der Vergangenheit unseres Erdballes. Der Schöpfungsbericht der Bibel, die Kosmogonien der Griechen und Römer, ebenso wie die heiligen Sagen der Naturvölker

versuchten eine Antwort zu geben auf das alte Problem, das die moderne Naturwissenschaft mit zielbewußten Methoden zu lösen bestrebt ist.

Eine ganze Anzahl naturwissenschaftlicher Disziplinen sind bei dieser Arbeit beteiligt. Astronomie und Geologie, Mineralogie, Physik und Chemie, Physiologie, Zoologie und Botanik, Ozeanographie und Klimakunde teilen sich in die vielgestaltige Aufgabe, und wenn die Geologie auch unter ihren Schwestern ein höheres Anrecht besitzt, sich mit diesen Fragen zu beschäftigen, so sind doch ihrer Kraft gewisse Grenzen gezogen, jenseits deren die anderen Disziplinen zu Rate gezogen werden müssen. Was sie erforscht haben, vom Standpunkte des Geologen kritisch zu beurteilen und mit den eigentlichen geologischen Tatsachen zu einem Gesamtbilde zu vereinen, soll die Aufgabe dieses Buches sein.

Wie uns die Geschichte des Menschengeschlechtes um so deutlicher vor Augen steht, je näher ein bestimmter Vorgang der Gegenwart liegt, und ihre Daten um so lückenvoller und vieldeutiger werden, je mehr wir uns den Anfängen der menschlichen Kultur nähern, so sind auch die geologischen Tatsachen um so zahlreicher und fester in Stein gemeißelt, je mehr sie an die geologische Neuzeit heranreichen. Wollen wir aber die ältesten Urzustände unseres Planeten untersuchen, dann werden die Dokumente spärlich, ihre Schriftzeichen sind schwer zu deuten und ihr Inhalt zeigt große Lücken.

Die Geschichte des Menschengeschlechtes zerfällt in zwei Abschnitte, ungleich an Dauer und Bedeutung. In der ältesten Zeit, der sogenannten „Urgeschichte“, hat der Mensch seine wichtigsten Eigenschaften erhalten: den aufrechten Gang, die gegliederte Sprache, die Kunst des Feuers und der Herstellung von Werkzeugen, sowie die ältesten Formen des gesellschaftlichen Zusammenlebens. Aber diese grundlegenden und wichtigsten Schritte seiner Entwicklung sind in ein geheimnisvolles Dunkel gehüllt, das nur schwankende Hypothese zu ergründen versucht. Erst wenn jene Zeit beginnt, die man die „Weltgeschichte“ zu nennen pflegt, gewinnt die Arbeit des Geschichtsforschers sicheren Boden.

So zerfällt auch die Geschichte der Erde in zwei Abschnitte von verschiedener Dauer, ungleicher Sicherheit der Forschung, aber gleichem Interesse. Der „Weltgeschichte“ des Historikers entspricht das Gebiet der historischen Geologie. Hier strömt uns von allen Seiten eine unermeßliche Fülle von Dokumenten entgegen. Wir brauchen sie nur chronologisch zu ordnen und sorgfältig zu lesen. Schicht um Schicht versteinierungsführender Gesteine betrachten wir wie die Blätter einer Chronik und finden darin aufgezeichnet: die Grenzen einstiger Meere, die Sandfelder ehemaliger Wüsten, die Mündungsgebiete riesiger Flüsse, die Richtung gewaltiger Kettengebirge und die Verteilung längst erloschener Vulkane. Wir können die Florenggebiete ebenso wie die tiergeographischen

Provinzen uralter Perioden umgrenzen, wir sehen die Wanderungen der Tiere, die Veränderung ihrer Gestalt.

Aber indem wir hinabtauchen in die Zeiträume einer noch älteren Vergangenheit, werden die Dokumente seltener, und langsam überschreiten wir die Grenzen der historischen Geologie gegen die Urgeschichte der Erde. In jenen Zeiten hat auch unsere Erde ihre wichtigsten Eigenschaften erhalten, aber mit unsicheren Methoden tasten wir im Dämmerlicht der Urzeit umher, große Lücken unterbrechen die Folge der Beobachtungen, unsere Schlüsse sind auf vereinzelte Tatsachen aufgebaut und stehen oder fallen mit bestimmten Voraussetzungen. Trotzdem wollen wir den Versuch unternehmen, auch diese Perioden der Urzeit mit in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen. Wenn wir uns bewußt bleiben, daß jeder Tag eine Entdeckung bringen kann, die scheinbar Gefestigtes zu Boden reißt, dann werden wir wohl keine Gefahr laufen, Unsicheres als sicher zu betrachten oder manche hier vorgetragene Vermutungen für wissenschaftlich festgelegte Tatsachen zu halten.

Ehe wir aber beginnen, diese ältesten Zustände unseres Planeten zu untersuchen, wollen wir die heutige Erde betrachten, nicht als einer ihrer Bewohner, der mit all seinen Geschicken an sie gefesselt ist, und für den die Erde den Mittelpunkt des Weltgeschehens bildet, sondern als ein Naturforscher, der aus dem fernen Weltenraume seinen Blick nach dem Teile des Himmelsgewölbes richtet, wo unser Sonnensystem schwebt.

Ein solcher Beobachter würde ein Stück Sternenhimmel vor sich sehen, von denselben Lichtpunkten übersät, die auch andere Teile des Firmamentes zieren. Sterne erster bis siebenter Größe würde er mit bloßem Auge erkennen, aber sein Fernrohr würde ihm noch unzählige lichtschwächere Fixsterne enthüllen.

Einer der mittelhellen Sterne würde unsere Sonne sein. Ihr gelbes Licht würde sicherlich von manchem weißleuchtenden Stern überstrahlt werden, und jener Beobachter würde kaum Veranlassung haben, gerade diesen Fixstern zum Gegenstande besonderer Untersuchung zu wählen. Noch viel weniger aber würde er auf den Gedanken kommen, einen 324000mal kleineren dunklen Stern ins Auge zu fassen, der in 365 Tagen die ferne Sonne umkreist. Und doch ist dieses verschwindend kleine Sternchen unsere Welt, unser Universum, und bildet für die Mehrzahl aller Menschen den Ausgangs- und Mittelpunkt ihres Fühlens und Denkens. —

Betrachten wir nun die wesentlichen und augenfälligen Eigenschaften, die jener Beobachter an diesem unscheinbaren Sternchen feststellen würde, indem er sich ihm immer mehr nähert.

Der wichtigste Charakter der heutigen Erde ist ihre kugelförmige Form. Mit feinsinnigen Methoden hat man zwar festgestellt, daß die Oberfläche der Erde keine richtige Kugelfläche ist, sondern einer ziemlich

unregelmäßigen Fläche (Geoid) entspricht, die nicht nur an den Polen abgeplattet, sondern auch in anderer Hinsicht verändert ist; aber für unsere jetzigen Betrachtungen spielen diese Abweichungen von der Kugelgestalt (Geoid-Deformationen) keine irgendwie bemerkbare Rolle.

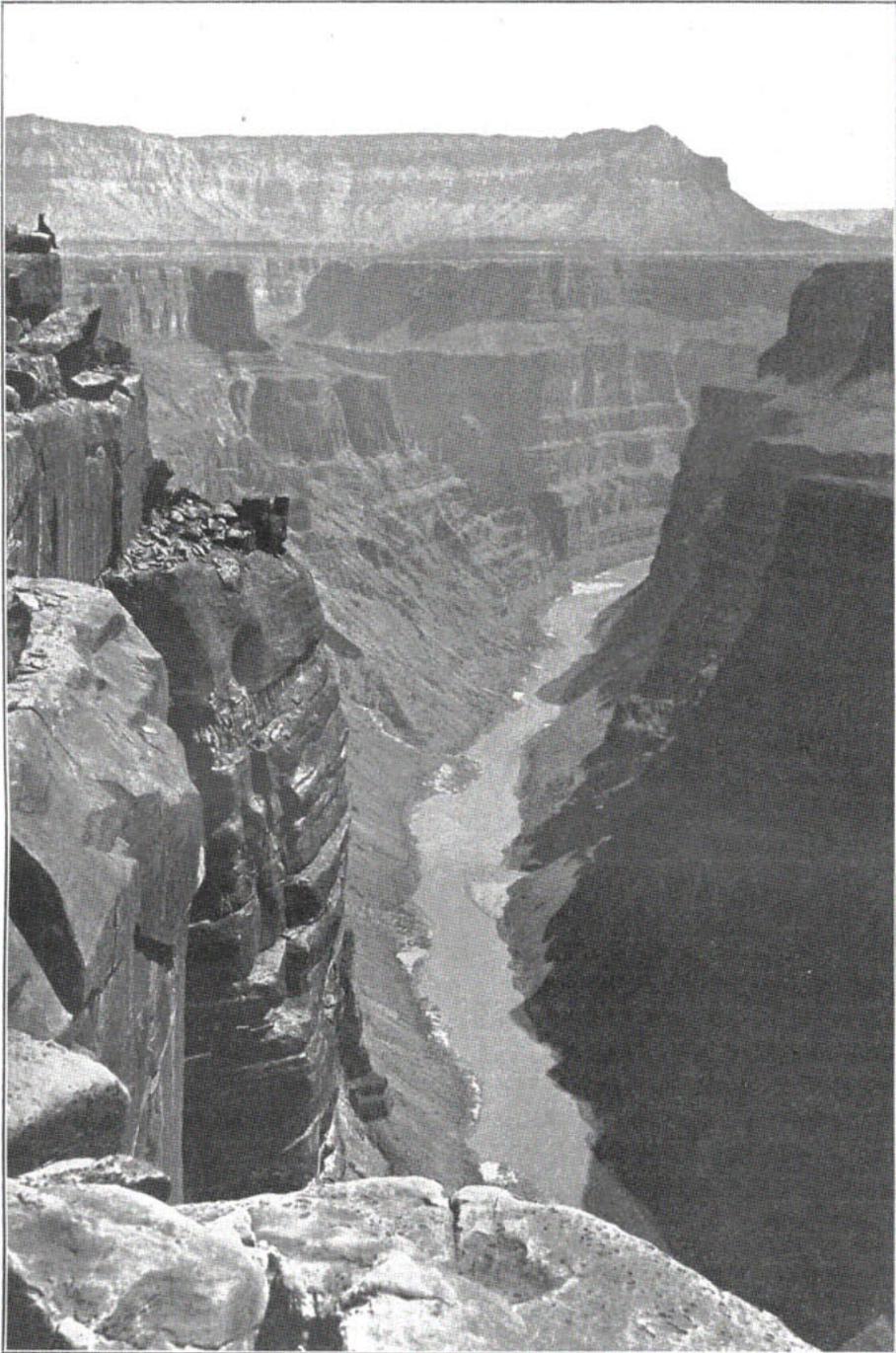
Beim Anblick einer sogenannten Weltkarte oder einer Globuskugel fällt unser Auge zuerst auf das Gradnetz, die Bahnen der Dampferlinien und Telegraphenkabel, das Netz der Eisenbahnen, die vielfarbigem politischen Grenzen und die städtischen Wohnsitze der Menschen. Alle diese für uns Menschen so wichtigen Dinge würden aber einem Naturforscher, der die Erde zum ersten Male besucht, von geringerer Wichtigkeit erscheinen. Wenn auf einem Globus von 60 cm Durchmesser der Äquator als eine 0,1 mm breite Linie eingetragen ist, so bedeckt das schwarze Band einen Gürtel von etwa 20 km Breite; wenn Berlin durch einen Kreis von 1 mm Durchmesser dargestellt ist, so bedeutet das eine Fläche, die etwa fünfzigmal so groß ist, als die wirkliche Fläche der deutschen Hauptstadt beträgt. Genau so übertrieben sind auf unseren Landkarten die Breite der Flüsse, die plastische Wirkung der Gebirge und viele andere Einzelheiten.

Wenn wir also von diesen für uns Erdgeborene so bedeutungsvollen Dingen absehen, so würde jener Beobachter zuerst feststellen, daß die Erde eine glatte, rotierende Kugel ist. Obwohl wir wissen, daß ihr polarer Durchmesser etwas kürzer ist als der Äquatorialdurchmesser, daß 8800 m hohe Gebirge das Festland überragen und 9500 m tiefe Senken am Meeresgrunde auftreten, so sind doch diese Abweichungen von der Kugelgestalt nur geringfügig.

Auf einem Globus von Manneshöhe beträgt der Unterschied beider Erdachsen 5 mm; der höchste Berg der Erde ragt dann $1\frac{1}{3}$ mm über ihre Länder empor, die größten Meerestiefen aber sinken nur $1\frac{1}{3}$ mm unter die normale Kugeloberfläche. Der etwa 2000 m tiefe Taleinschnitt des Colorado in Arizona (Fig. 1) würde etwa $\frac{1}{4}$ mm betragen; der höchste Berg würde, neben die größte Ozeantiefe gestellt, nur einen Höhenunterschied von 2,5 mm erkennen lassen. Noch viel geringer erschienen aber die Unterschiede der mittleren Höhe der Kontinente, die 700 m über der mittleren Tiefe der Ozeane von 3500 m aufragen. Auf einem mannes hohen Globus ergibt dies einen Unterschied von 0,5 mm — so dünn ist das Wasserhäutchen, das wir als „Weltozean“ bezeichnen.

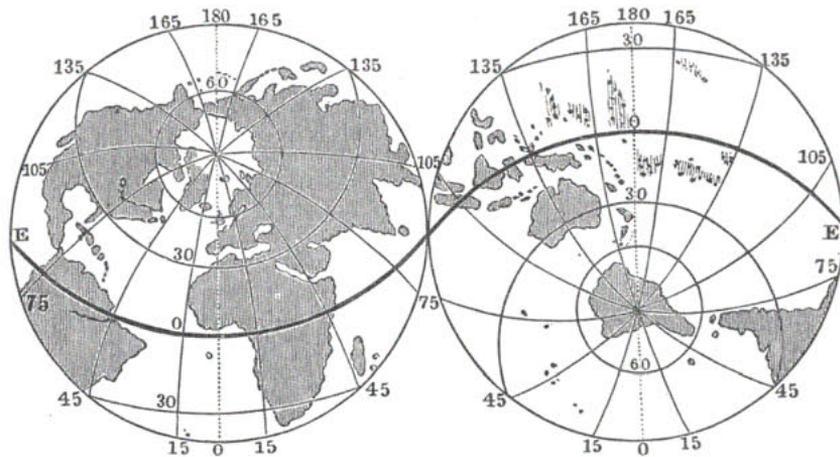
Der Erdball wird nach außen von der Atmosphäre umgeben, die von unten nach oben dünner wird und wahrscheinlich ohne scharfe Grenze in den luftleeren Weltraum übergeht. Es ist deshalb sehr schwierig, die Höhe der Atmosphäre genau zu bestimmen, doch mag sie etwa 200 km hoch und auf unserem Globus zu 25 mm gerechnet werden.

Das Weltmeer bildet zwar auch eine in sich geschlossene Hülle um



Figur 1.
Blick in das Colorado-Cañon.

den ganzen Erdball, allein der Wassermantel ist von großen Lücken, die wir Festländer und Inseln nennen, vielfach unterbrochen. 28% der Erdoberfläche sind festes Land, und 72% gehören zur Fläche der Hydrosphäre. Die großen Festländer sind von einer mehr oder weniger breiten Zone flachen Wassers umgeben, jenseits deren der Kontinentalsockel endet und der eigentliche Abfall zur Tiefsee beginnt. Man nennt diese Flachseeregion die *Kontinentalstufe*¹ oder den „Schelf“, und hat zeigen können, daß sie durch die vereinte Wirkung von Brandung und Flüssen an jedem Ufer entsteht.



Figur 2.

Die Land- und Wasserhalbkugel. (E—E kennzeichnet die Lage des Äquators.)

Bis weit in das Herz der Festländer reicht der Einfluß des Meeres. Ein vielverästeltes Netz von Wasserfäden überzieht als Strom, Fluß, Bach, See, Gletscher und Schneeflächen das Festland, und so muß das Verhältnis des trockenen Landes zu den Flächen des Wassermantels für ersteres noch viel ungünstigere Zahlen ergeben.

Bei der Betrachtung der Meerestiefen erkennen wir, daß unsere heutigen Weltmeere nicht etwa flache Schüsseln sind, deren Tiefe vom Land nach der Hochsee beständig zunimmt, sondern daß gerade die aller-

Anmerkung. Da es nicht in meiner Absicht liegen konnte, eine Übersicht der geologischen Literatur zu geben, habe ich im folgenden nur solche Stellen zitiert, wo ich eine größere Tatsachengruppe in einer für den Ausgang meiner Schlußfolgerungen bedeutsamen Weise verwertet fand. Es dürfte aber wohl manchem Leser von Wert sein, nach dem Studium dieses Buches sich noch weiter mit der einschlägigen Literatur zu beschäftigen. Daher sind am Schlusse dieses Abschnittes eine Anzahl Lehr- und Handbücher genannt, die zum Teil auch bei der Ausarbeitung des Textes oft zu Rate gezogen wurden, ohne daß sie jedesmal zitiert werden konnten.

größten Meerestiefen oft in nächster Nähe von Inseln oder Festländern liegen. Die Tuscaroratiefe bei den Kurilen beträgt 8512 m, die Kermadektiefe nördlich von Neuseeland sogar 9528 m.

In der Gegenwart gehören etwa zwei Drittel der gesamten Erdoberfläche zu den lichtlosen, eiskalten Regionen der Tiefsee. Aber dieses Verhältnis war nicht immer so und hat sich erst im Laufe der geologischen Geschichte herausgebildet.

Wir sind gewöhnt, jede Landkarte und jeden Globus nach seiner Orientierung zur Drehungsachse der Erde zu betrachten und können dabei die Verteilung von Wasser und Land auf der Erdkugel nicht ganz richtig würdigen. Aber wenn wir uns einmal im Geiste die Erdkugel aus ihren Angeln heben, um sie dann von allen Seiten anzusehen, so erkennen wir (vgl. Fig. 2) sofort, daß nicht fünf Ozeane existieren, sondern daß ein einziges universales Weltmeer seinen Mittelpunkt im südlichen Pazifik hat, und daß von hier aus große und kleine Buchten, nach Norden vordringend, große Festlandsmassen trennen und von allen Seiten umspülen.

Nur die Seen und Flußsysteme der abflußlosen Gebiete sind vollkommen abgetrennt vom Ozean; ein Fünftel der gesamten heutigen Landoberfläche gehört zu diesen regenarmen Wüsten und Steppenländern.

Das Weltmeer ist in einer beständigen Bewegung begriffen. Ebbe und Flut verschieben die Strandlinie, Wind und Stürme erzeugen mächtige Wellen, Passatwinde leiten die oberflächlichen Strömungen und Wärmeunterschiede versetzen tiefere Wasserschichten in eine langsame, kaum meßbare Zirkulation. Sonnenwärme verdunstet die Oberfläche des Wasserspiegels, das Wasser steigt in die Atmosphäre empor, fällt als Regen und Schnee wieder herab und in der Mündung großer Flüsse strömt der Überfluß des Landes dem mütterlichen Ozeane zu. So sehen wir zwar, wie sich die Hydrosphäre beständig ändert, aber wir möchten glauben, daß wenigstens die großen Umrisse der Meeresbecken unveränderlich sind.

Gehen wir jedoch weiter zurück in die Vergangenheit, so sehen wir z. B. bei Bajae römische Bauwerke mehrere Meter unter dem Wasserspiegel und an der Felsenküste von Capri 200 m hoch deutliche Symptome eines früheren Meeresspiegels. So erscheint uns also auch der Ozean als ein unbeständiges, ewig wechselndes Reich, dessen Grenzen ebenso beweglich sind wie seine Fluten.

Unter der Atmosphäre und der Hydrosphäre finden wir eine dritte Hülle um den Erdball geschlungen. Wenn wir uns einmal von der Vorstellung befreien, daß ein Wald aus Tausenden von einzelnen Bäumen, ein Korallenriff aus Millionen einzelner Tiere besteht, dann können wir diese mit tierischem und pflanzlichem Leben bedeckten Flächen als eine einheitliche, allerdings sehr lückenvolle Schicht lebendiger Substanz: die

Biosphäre, betrachten. Sie ist über die Festländer und über den Meeresgrund wie ein bunter Teppich ausgebreitet, nimmt als Tundra, Wald, Sumpf, Rasen, Korallenriff, Fischschwarm, Tierherde sehr mannigfaltige Formen an, aber überall setzt sie sich aus lebenden Organismen zusammen, die oft dicht gedrängt nebeneinander wachsen, sich vermehren und sterben. Von den Grasmatten der tibetanischen Hochländer bis hinab zu den spongiengewachsenen Abgründen der Tiefsee reicht diese vielgestaltige Organismenwelt, und während sie ihre Nahrung zum größeren Teile aus der Atmosphäre und der Hydrosphäre entnimmt, lagert sie andererseits ihre unverweslichen Überreste nach dem Tode als Kalkbank, Kohlenlager oder Knochenanhäufung der Erdrinde auf.

Nachdem wir die drei oberen Hüllen der Erdkugel durchschritten haben, setzen wir unseren Fuß auf den Steinmantel der festen Erde, die Lithosphäre. Daß sie aus mehr oder weniger harten Felsarten besteht, daß Berge und Täler von ihr gebildet werden, lehrt uns alltägliche Erfahrung, aber eins interessiert uns besonders: zu wissen, bis in welche Tiefe der feste, harte Felsgrund reicht.

Die großartige Schlucht des Colorado in Arizona (Fig. 1) steigt fast 2000 m tief hinab, und bis zum Boden werden die steilen Wände von festen Felsmassen gebildet. Dagegen will es nicht viel bedeuten, daß der tiefste Schacht eines Bergwerkes in Nordamerika 1388 m weit in feste Gesteinsmassen eingedrungen ist. Festes Gestein traf aber auch das tiefste Bohrloch der Erde bei Paruschowitz in Oberschlesien. Die Temperatur desselben betrug nahe der Oberfläche 12° C; in einer Tiefe von 2003 m aber stieg sie auf 69,3°.

Da man überall eine ähnliche Wärmezunahme beobachten konnte und die Temperatur im Durchschnitt bei einer Tiefe von 33 m um 1° C steigt, so werden wir notwendig zu der Ansicht geführt, daß unterhalb der festen kalten Erdrinde eine immer heißer werdende Zone liegt, die wir als den glühenden Erdkern oder die Pyrosphäre bezeichnen. Eine einfache Rechnung zeigt, daß in einer Tiefe von 50 bis 75 km unter unseren Füßen überall eine Temperatur von etwa 1500° herrschen muß.

Wenn wir Granit, Basalt oder irgend ein anderes Gestein im Schmelzofen einer Hitze von 1500° aussetzen, so wird es nicht nur 1500° warm, sondern es beginnt auch zu schmelzen und verwandelt sich in eine zähe Flüssigkeit. Bei vulkanischen Ausbrüchen dringt tatsächlich eine geschmolzene glühende Masse (das Magma) bis zur Erdoberfläche, um daselbst als Lava zu erstarren.

Man hat nun daraus den Schluß gezogen, daß auch das Erdinnere von einer beweglichen Flüssigkeit erfüllt sei — aber astronomische Tatsachen widersprechen einer solchen Annahme durchaus. Die Erd-

kugel, als Ganzes genommen, verhält sich bei ihren kosmischen Bewegungen wie eine harte, starre Masse, gerade als wenn sie aus Stahl bestände.

Dieser Widerspruch erklärt sich jedoch leicht, wenn wir erwägen, daß eine erhitzte Gesteinsmasse nur unter geringem Druck flüssig werden kann; sobald wir mit zunehmender Temperatur auch den Druck steigern, so erwärmt sich die Masse, ohne zu schmelzen; allerdings reicht dann eine kleine Druckentlastung hin, um die überhitzte starre Masse sofort in eine Flüssigkeit zu verwandeln.

Die Pyrosphäre wird umspannt von dem lückenlos gefügten Gewölbe der Lithosphäre, die einen solchen Druck auf das Erdinnere ausübt, daß dieses trotz seiner hohen Temperatur als Ganzes nicht flüssig sein kann, sondern sich wie eine starre Stahlkugel verhält. Aber bei jeder Druckentlastung ist das glühendheiße Erdinnere bereit, sofort als Schmelzfluß aufzusteigen.

Welche Temperaturen im eigentlichen Erdkerne herrschen, ist nur vermutungsweise zu schätzen. Manche Geophysiker nehmen eine Temperatur von 5000° an, während andere² berechnen, daß am Ende eines bis zum Mittelpunkte der Erde reichenden Schachtes eine Wärme von $32\,000^{\circ}$ herrschen müsse.

Auch über den Aggregatzustand des Erdinnern hat man auf Grund physikalischer Gesetze ein Urteil zu gewinnen versucht. Danach würde sich unterhalb der festen Erdrinde ein Gasball befinden, in dessen tieferen Teilen die verschiedenen chemischen Grundstoffe in isoliertem Zustande nebeneinander existierten, während sie weiter außen in dem Übergangs-(Dissoziations-)Gebiet abwechselnd zu chemischen Verbindungen zusammentreten und sich wieder von einander trennen könnten.

Über die chemische Beschaffenheit des Erdinnern läßt sich nur so viel sagen, daß dort schwere Elemente vorwiegen. Denn die ganze Erde hat ein spezifisches Gewicht von 5,6 (ungefähr das des Magneteisens), während die in der Erdrinde weitverbreiteten Gesteine nur ein solches von 2,5 besitzen.

Daß die Massen schon unterhalb der Erdrinde und in der Außenzone der Pyrosphäre nicht gleichmäßig verteilt sind, wird durch die Resultate der in den letzten Jahren vorgenommenen Pendel-Beobachtungen bewiesen. Danach ist die Erdrinde unter den Alpen³ um so viel leichter, wie einer Gesteinsmasse von 1200 m Dicke entspricht, während zwischen dem Gardasee und Mantua ein Massenüberschuß von 700 m vorhanden ist. Unter dem Riesengebirge⁴ muß man einen Massendefekt von 240 m annehmen, im Odergebiet einen Massenüberschuß von 350 m. Sollten weitere Pendelmessungen bestätigen, daß im Durchschnitt die Kontinentalflächen leichter sind als die Gebiete der Tiefsee, so würde sich er-

geben, daß sogar die Lokalisierung der Meere durch lokale Anziehung von Seiten der Erdrinde bedingt sei.

Über die Zunahme der Dichte von der Erdrinde nach dem Kern sind mehrfach Rechnungen⁵ ausgeführt worden, die zu ziemlich übereinstimmenden Resultaten führten:

Halbmesser	Spezifisches Gewicht nach		
	Waltershausen .	Laplace	Darwin
1	2,6	2,7	3,7
0,9	3,9	3,8	4,1
0,8	5,1	5,0	4,6
0,7	6,2	6,1	5,3
0,6	7,0	7,2	6,1
0,5	7,8	8,2	7,4
0,4	8,4	9,0	9,2
0,3	8,9	9,8	12,3
0,2	9,3	10,3	18,5
0,1	9,5	10,6	37,0
0	9,5	10,7	∞

Daraus geht jedenfalls soviel hervor, daß eine Eisenhohlkugel (spez. Gew. = 5—6) in einer Tiefe von rund 1600 km ruhen dürfte, unterhalb deren schwerere Metalle folgen. Ein Überschuß von reinem Eisen im Erdkern aber ist nicht wahrscheinlich, da dessen spezifisches Gewicht etwa dem des Kupfers entspricht.

Aus unseren bisherigen Betrachtungen ergibt sich, daß von den fünf großen Kugelschalen, welche als

1. Atmosphäre oder Lufthülle,
2. Hydrosphäre „ Wasserhülle,
3. Biosphäre „ Lebenshülle,
4. Lithosphäre „ Erdrinde,
5. Pyrosphäre „ Feuerkugel = Erdkern

den Erdball zusammensetzen, die drei äußersten Hüllen (der Schauplatz der äußeren oder exogenen Kräfte) sehr leicht verschoben und bewegt werden können; dann folgt die verhältnismäßig schwer veränderliche Steinkruste und unter ihr eine glühende Gaskugel, die zwar die Hauptmasse unseres Planeten bildet und in der Urzeit oft die dünnere Erdkruste durchbrochen haben mag, jetzt aber nur unter ganz besonderen Verhältnissen (endogene Kräfte) in und auf der Lithosphäre in die Erscheinung tritt.

Die große Mannigfaltigkeit der an der Oberfläche der Erdrinde sich vollziehenden Massenbewegungen kann man⁶ vom Standpunkte des Geologen in zwei Kategorien einteilen:

a) Durch Verwitterung, Lockerung und Zerfall der anstehenden Gesteine wird fast überall ein fein- oder grobkörniger Schutt gebildet, der nur selten liegen bleibt, unter dem Einfluß der Schwerkraft in die Tiefe sinkt und stürzt (Bergsturz, Schlammstrom), in der Regel aber von Wind, Wasser oder Gletschern ergriffen und davongetragen wird. Wir nennen die Wirkung aller in dieser Richtung tätigen atmosphärischen Kräfte Abtragung (Denudation). Durch sie wird der Erdhalbmesser lokal verkürzt.

b) Wo aber nach längerer oder kürzerer Frist die obengenannten Transportkräfte erlahmen und ihre Fracht abwerfen, da wird der inzwischen sortierte Verwitterungsschutt niedergelegt, und der Erdhalbmesser verlängert sich hier durch Auflagerung (Gesteinsbildung).

Abtragung und Auflagerung sind nicht nur die Endstadien eines einheitlich verlaufenden Vorganges, sondern sie schließen sich auch räumlich und zeitlich aus.

Indem Verwitterung und Abtragung eine gelockerte Gesteinsschicht nach der anderen entfernen, entstehen immer größere und tiefere Wunden in der festen Erdrinde, die wir, wenn sie eng umgrenzt sind: Täler, wenn sie flächenhaft ausgedehnt sind: Tiefen oder Wannen nennen, und die Summe des abgetragenen oder ausgeräumten Materials entspricht dem Umfange des entstandenen Hohlraumes. So können ganze Gebirgssysteme bis auf ihre Wurzel abgetragen werden, und nur der innere Bau des übrigbleibenden Grundgebirges verrät uns, daß an einer jetzt vielleicht völlig ebenen Stelle dereinst ein hohes Gebirge existierte.

Was aber wird aus dem ausgeräumten und durch allerlei transportierende Kräfte entfernten Gebirgsschutt, dem Staub und Schlamm, dem Sand und Kies, den Geröllen und Gesteinsblöcken? Sie werden nach kürzerem oder längerem Transport wieder abgelagert, und es hängt ganz von der Dauer und dem Charakter der betreffenden Bedingungen ab, ob hierbei eine nur papierdünne Staubschicht oder im Laufe langer Perioden eine Sandsteinablagerung von 4000 m Mächtigkeit entsteht.

Indem sich so Schuttdecke über Schuttdecke ausbreitet, wandert eine vorher an der Erdoberfläche befindliche Schicht langsam in die Tiefe und erleidet dabei in der Regel sehr merkwürdige Veränderungen.

Man kann⁷ innerhalb der Erdrinde, mit Rücksicht auf die daselbst vorwaltenden physikalischen oder chemischen Vorgänge von oben nach unten drei Zonen unterscheiden:

1. die Zone der Abtragung und Auflagerung,

deren Erscheinungen wir soeben betrachtet haben; darunter folgt in einem wechselnden Abstand von der Erdoberfläche

2. die Zone der Verkittung.

Hier ist in allen Hohlräumen warmes Wasser vorhanden, das chemische Substanzen gelöst hat und geneigt ist, dieselben überall da abzuscheiden, wo es längere Zeit stagniert, oder wo sich Lösungen von verschiedener Wärme und Zusammensetzung begegnen. Daß hierbei sehr leicht gerade die am schwersten löslichen Verbindungen (Kieselsäure, Schwerspat) ausgefällt werden, aber natürlich auch leichter lösliche Kalk- und Eisensalze, ist wohl verständlich. Und so kommt es, daß die durch Überlagerung mit jüngeren Gesteinsdecken allmählich passiv in immer größere Tiefe hinabsinkenden lockeren Auflagerungsmassen (Gerölle, Sand, weicher Ton und Muschelsand) in dieser Zone rasch verkittet und in feste Konglomerate, Sandsteine, Schiefertone oder Kalke verwandelt werden.

In noch größerer Tiefe folgt

3. die Zone der plutonischen Erdwärme.

Hier werden die Gesteine von unten her durch heißes Wasser und magmatische Dämpfe durchtränkt, und es bilden sich dabei oft so tiefgreifende Veränderungen in Zusammensetzung und Gefüge, daß ein anfangs lockerer Quarzsand, der in der zweiten Zone zu Sandstein verkittet wurde, hier zu einem klingend harten Quarzit werden kann, während lockerer Muschelsand, der inzwischen zu einem porösen Kalkstein verkittet wurde, hier in kristallinen Marmor übergeht. (Die weiteren Strukturänderungen, die Erzgänge und Mineralbildungen, die in diesem Gebiete nahe der Pyrosphäre entstehen, werden wir noch später gesondert betrachten.) Endlich gelangen wir an die Grenze der Pyrosphäre und zu den überhitzten Massen (Magma), die bei vulkanischen Ausbrüchen nach oben befördert werden.

Die Erdkugel dreht sich mit der Geschwindigkeit einer Kanonenkugel (in einer Sekunde 450 m) um ihre Achse, und da sie hierbei der leuchtenden und wärmenden Sonne immer eine andere Seite zuwendet, so entspricht jene Umdrehungszeit dem Wechselspiel von Tag und Nacht.

Gleichzeitig dreht sich die Erdkugel in 365 Tagen 5 Stunden, 48 Minuten und 46 Sekunden um die Sonne und durchmißt hierbei in der Sekunde 30000 m auf einer Bahn, die nur um ein Sechzigstel von der Kreislinie abweicht. Die Erdachse steht nicht senkrecht auf der Umdrehungsebene um die Sonne, deshalb erhält in dem einen Halbjahr die nördliche, im nächsten Halbjahr die südliche Halbkugel eine größere Menge von Sonnenstrahlen.

Die Strahlen der Sonne durchheilen einen 149 000 000 km langen Weg, um Wärme und Licht auf die Erde zu bringen. Die in einem Querschnitt von 1 qm enthaltene Menge von Sonnenstrahlen trifft

in der Nähe des Äquators auf eine ebenso große Fläche der Erde. Infolge der Kugelgestalt derselben verteilt sich aber diese Wärmemenge nach den Polen zu auf eine immer größere Fläche und kann daher hier viel weniger wirken. Durch diese gesetzmäßige Abnahme der Sonnenwärme vom Äquator gegen die Pole entstehen die Klimazonen, die wir auf der Erde unterscheiden:

a) Um den Äquator schlingt sich der breite Tropengürtel, ausgezeichnet durch hohe, gleichmäßige Temperatur, reichliche Niederschläge und üppige Vegetation. Er umfaßt die Hälfte der gesamten Erdoberfläche und ist durch Übergänge mit

b) dem nördlichen und südlichen Wüstengürtel verbunden, der ebenfalls durch hohe Temperaturen, aber zugleich durch sehr geringe Niederschläge und Pflanzenmangel ausgezeichnet ist. Es folgt

c) die nördliche und südliche gemäßigte Zone, in denen der Gegensatz von Sommer und Winter besonders deutlich in die Erscheinung tritt. Die während des Winters vom Polarkreis herabdringende Schneedecke wird durch die sommerliche Sonnenwärme geschmolzen und das organische Leben ebenso wie die anorganischen Vorgänge werden im rhythmischen Wechsel durch die Jahreszeiten bestimmt.

d) Nur ein Zwölftel der Erdoberfläche liegt innerhalb des nördlichen und südlichen Polarkreises; Schnee und Eis bedecken seine Flächen und das organische Leben kann sich auf dem Lande nur kümmerlich entfalten. Um so reicher ist die marine Flora und Fauna. Obwohl uns das polare Klima wie eine Anomalie erscheinen möchte, so entspricht es doch am nächsten den gegenwärtig der Erde eigentümlichen Verhältnissen. Unser Planet würde überall mit ewigem Eis und Schnee bedeckt sein, wenn nicht die Sonne beständig ihre Wärmestrahlen zu uns sendete.

Man hat berechnet,⁸ daß unsere Erde, wenn wir die Sonnenstrahlen abblenden könnten, eine Temperatur von -200° annehmen müßte. Aber die tiefsten Wintertemperaturen an den Kältepolen betragen nur etwa -70° . Wie kommt es also, daß unsere Erde nicht so kalt werden kann, wie jene Berechnung vermuten lassen würde? Die Ursachen hierfür liegen in der Lufthülle, der Atmosphäre, welche wie das Fenster eines Treibbeetes einen großen Teil der darauffallenden und hindurchdringenden Wärmestrahlen nicht gleich wieder in den Weltenraum zurückläßt. So schützt die Atmosphäre unseren Planeten vor dem vernichtenden Einflusse der im Weltenraume herrschenden niedrigen Temperatur.

Kalte Luft ist schwer, warme Luft ist leicht; deshalb steigt im Äquatorialgebiet die Luft empor, fließt in den oberen Schichten der Atmosphäre polwärts und kehrt von hier an der Erdoberfläche nach dem

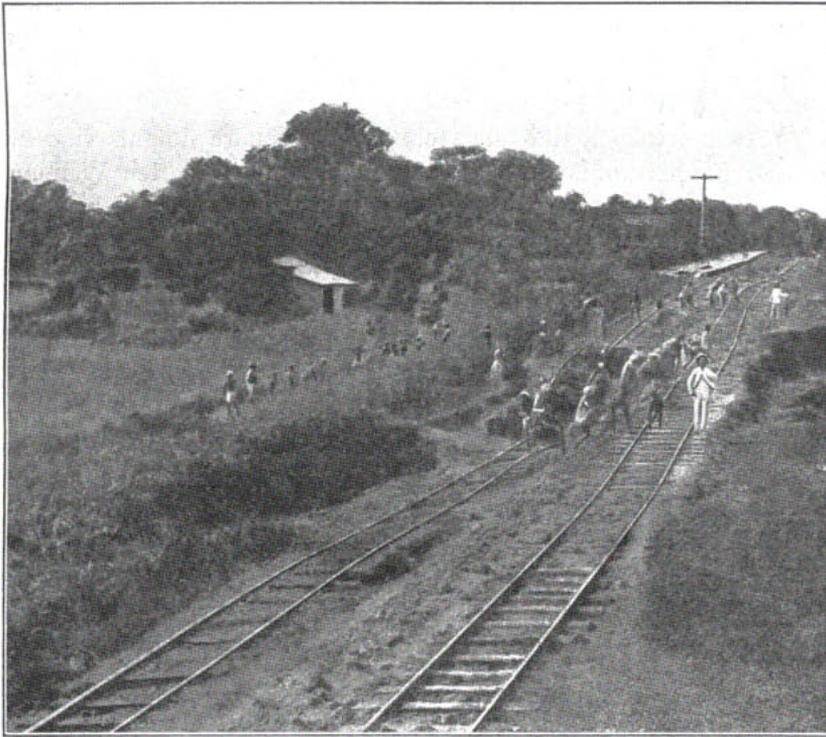
Tropengürtel wieder zurück. Diese große tellurische Luftzirkulation der Passatwinde würde auf einer ruhenden Erdkugel längs der Meridiane verlaufen. Durch die Rotation der Erde werden die Passatwinde abgelenkt, und so strömen die mächtigsten Winde auf der nördlichen von SW. nach NO., auf der südlichen Halbkugel von NW. nach SO. Indem sich ihre Bewegung an der Meeresoberfläche reibt, überträgt sich die Bewegung der Luftströmungen auf das Wasser, und es entstehen die großen Meeresströmungen, welche von so maßgebendem Einfluß auf das Klima der Küstenländer und die geographische Verteilung der marinen Organismen sind.

Da die Temperatur der Meeresoberfläche ebenso wie die des Landes durch die astronomische Stellung der Erde zur Sonne geregelt wird, können wir auch dort klimatische Wärmezonen unterscheiden, welche von 35°C am Äquator bis zu $-2,5^{\circ}\text{C}$ an den Polen schwanken. Aber nur eine Wasserschicht von etwa 400 m wird durch die Sonne stärker erwärmt, dagegen ist die Temperatur der Tiefsee selbst unter dem Äquator nur wenige Grade über 0° . Wir müssen uns erinnern (siehe Fig. 2), daß der Mittelpunkt des großen Weltmeeres in den südlichen Gebieten des Pazifik nahe dem südlichen Eismeere gelegen ist. Kaltes Wasser ist schwer, und die Bodentemperaturen eines größeren Wasserbeckens werden durch die Wintertemperatur der Wasseroberfläche bestimmt. Deshalb dringt eine eiskalte Wassermasse vom Südpolarmeer nach dem Äquatorgebiete des Stillen, Indischen und Atlantischen Ozeans, bringt in die lichtlosen Tiefen frischen Sauerstoff und Nahrung für die Tiefseefauna und bestimmt die Temperatur der untersten Wasserschichten. Zu allen Zeiten muß die Tiefsee die niedrigsten Wassertemperaturen des jeweiligen herrschenden Klimas gehabt haben.

Da die Erdachse nicht senkrecht auf ihrer Umdrehungsbahn um die Sonne steht, sondern um 23° von ihr abweicht (Ekliptik), verschieben sich die Klimazonen in jedem Jahre um diesen Betrag bald auf der nördlichen, bald auf der südlichen Halbkugel gegen den Pol und es entsteht die Erscheinung von Sommer und Winter. Hierdurch werden eine Reihe von periodischen Vorgängen und Bewegungen in der Atmosphäre, der Hydrosphäre und Biosphäre ausgelöst, deren geologische Wirkung uns noch später beschäftigen wird.

Obwohl wir kurzlebigen Menschen gewohnt sind, alle diese Verhältnisse für unveränderlich zu halten, so lehren doch zahlreiche Tatsachen, daß die bisher geschilderten Eigenschaften der Erde einem unaufhörlichen Wechsel unterworfen waren. In Thüringen wuchsen einstmalen Palmen, das Klima von Grönland ließ den Brotfruchtbaum gedeihen, und arktische Muscheln lebten in einer späteren Periode an den Küsten Englands. In den dünnplattigen Kalkschichten von Solnhofen sind Meeresfische

so wunderbar versteinert, daß man ihren Darminhalt und die mikroskopische Struktur der Muskeln untersuchen kann. Über 3000 m hoch finden wir Meeresversteinerungen in den Alpen und im Himalaja. Im September 1538 entstand bei Neapel auf dem ebenen Küstenlande ein neuer Vulkanberg (Monte nuovo), und 1897 wurden bei dem Erdbeben in Assam in Nordindien 30 m hohe Bergrücken emporgehoben und die Signalsteine der trigonometrischen Vermessungen um 50 m verschoben. Eine Spalte kreuzte die Schienen der Station Nilphamari und erzeugte eine fast 2 m hohe Stufe (Fig. 3) darin.



Figur 3.

Verwerfungsspalte von etwa 2 m Sprunghöhe, die bei dem indischen Erdbeben von 1897 den Schienenstrang bei Nilphamari knickte. Arbeiter sind beschäftigt, die Schienen wieder horizontal zu legen.

Auch die systematische Zusammensetzung unserer Tierwelt hat sich in historischer Zeit verändert. Im Jahre 1844 wurde das letzte Exemplar eines Tauchervogels (der *Alca impennis*) erlegt, der früher auf den Inseln des nördlichen Atlantik heimisch war, und von den Millionen von Büffeln, die noch vor wenigen Jahrzehnten die Prärien Nordamerikas belebten, sind nur einige kleine Herden in staatlichen Gehegen gerettet worden.

So hat sich vieles gewandelt, was uns dauernd und bleibend erscheint, und es erhebt sich die Frage: welche Eigenschaften unserer Erde sind vom Augenblick ihrer Entstehung bis zum heutigen Tage unverändert dieselben geblieben?

Das Relief unseres Planeten gehört nicht zu diesen wesentlichen Eigenschaften. Wo früher hohe Gebirge emporragten, ist später ebenes Land entstanden, und die riesenhohen Ketten des Himalaja gehören zu den jüngsten Faltengebirgen der Erde. Ja selbst die Kugelgestalt ist nicht immer vorhanden gewesen; sie ist erst das Resultat langer astrophysischer Verwandlungen. Auch die polare Abplattung von etwa fünf geographischen Meilen hat sich erst allmählich herausgebildet, denn wenn uns die Astronomie lehrt, daß der Tag früher einmal nur vier Stunden lang war, so mußte damals auch die Abplattung des Rotationsellipsoids wesentlich größer gewesen sein.

Wenn wir erwägen, daß die steinige Lithosphäre nur als eine dünne Haut den großen glühenden Erdball gegen den eiskalten Weltenraum abgrenzt, so werden wir zu der Vorstellung geführt, daß die hohen Temperaturen des Erdinnern dereinst auch die Erdoberfläche beherrschten. Dann aber konnte auch die Hydrosphäre nicht existieren, und organisches Leben war noch weniger möglich. Durch allmähliche Übergänge mußten Pyrosphäre und Atmosphäre verbunden sein und eine untrennbare Einheit bilden. Diese heiße Uratmosphäre muß eine wesentlich andere Zusammensetzung gehabt haben, denn es waren darin die Wasser des ältesten Meeres, die Masse des in den Kohlenlagern aufgespeicherten Kohlenstoffes und viele andere Elemente enthalten, die gegenwärtig am Aufbau der festen Erdrinde beteiligt sind.

Indem wir zugeben, daß die Uerde heißer gewesen ist, ergibt sich nach bekannten physikalischen Gesetzen von selbst, daß sie auch größer war, und eine ganze Reihe von unzweideutigen Tatsachen beweisen selbst für die letzte genau untersuchte Phase der Erdentwicklung eine Kontraktion unseres Erdballes. Jedes Faltengebirge entspricht einem Stück Erdrinde, das für den sich verkleinernden Erdball zu weit wurde und sich deshalb zusammenrunzeln mußte. Das Gebiet des Säntisstockes⁹ ist während der Tertiärperiode von 15 km auf etwa 5 km zusammengeschoben worden. Wenn wir die Falten des Alpengebirges ausglätten könnten, so würden sie eine um mindestens 50 km breitere Fläche bedecken; andere Faltengebirge ergäben noch höhere Werte.

Man betrachtet oftmals die Lage der Drehungspole und mithin die Verteilung der Klimazonen als ein bleibendes Element unseres Planeten; allein wir kennen geologische Tatsachen, die auf eine andere Lage der Erdachse hindeuten, und die astronomische Beobachtung hat sogar in den letzten Jahren eine — wenn auch nur geringe — Polverschiebung nachweisen können.

Auch die wärmeabsorbierende Kraft der Atmosphäre war nicht immer dieselbe wie heutzutage. Solange die Kohlenlager noch nicht gebildet waren, mußte die Luft viel mehr Kohlensäure enthalten, und dadurch¹⁰ ward ihre Absorptionskraft so erhöht, daß die Klimate nach ganz anderen Normen verteilt waren.

Als besonders charakteristisches Merkmal unserer Erde könnte man vielleicht ihre Masse bezeichnen. Aber jeden Tag fallen Meteorstaub und Meteorsteine zur Erde herab, um ihre Masse zu vermehren, während die Bildung des Mondes mit einer Verminderung der Erdmasse verbunden war.

Es scheint uns fast selbstverständlich, daß die Sonne immer als wärmender und leuchtender Zentralkörper im Mittelpunkte unseres Planetensystems gestanden habe — aber selbst gegen diese Annahme lassen sich gewichtige Gründe geltend machen.

So scheint alles zu schwinden, was uns fest und unveränderlich erschien, und wenn wir nur die im Laufe ihrer Vergangenheit bleibenden Eigenschaften der Erde aufzählen wollen, dann können wir etwa folgendes sagen:

Die Erde ist ein kleiner Himmelskörper von wechselnder Masse und Gestalt, der sich um seine Achse dreht und sich gleichzeitig um den Mittelpunkt unseres Planetensystems in einer nahezu kreisförmigen Bahn bewegt. Ihre Geschichte besteht aus zahlreichen, auf lange Äonen verteilten Veränderungen, die anfangs wohl katastrophenartig, dann immer langsamer und gleichmäßiger erfolgten und allmählich zu einer Sonderung der leichteren äußeren Hüllen und des schweren Kernes führten. Indem jene immer mehr von Mond und Sonne beeinflußt wurden, blieb die Wärmeabgabe des irdischen Feuerballes an den Weltenraum die wesentliche Ursache für Änderungen des Gefüges und der Gestalt der Erdrinde. Tag und Nacht, vielleicht auch die Jahreszeiten sind uralte Erbstücke einer längstverflossenen Urperiode, aber alle anderen Erscheinungen, besonders auch die heutige Verteilung wärmerer und minder warmer Klimagebiete, sind späterer Entstehung.

Lehrbücher

J. Walther, Vorschule der Geologie, III. Aufl., Jena 1907; Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft, Jena 1893/94. — H. Credner, Elemente der Geologie, X. Aufl., Leipzig 1906. — J. Dana, Manual of Geology, IV. Aufl., New York 1895. — Frech (mit Römer, Noetling, v. Arthaber, Philippi, Geinitz), Lethaea geognostica, Stuttgart 1880—1906. — E. Haeckel, Generelle Morphologie, Jena 1866, Neudruck 1906; Systematische Phylogenie, Berlin 1896. — Hatch & Corstorphine, Geology of South Africa, London 1905. — Katzer, Geologie von Böhmen, Prag 1892; Geologie des unteren Amazonasgebietes, Leipzig 1903. — E. Kayser, Lehrbuch der Geologie, Stutt-

gart 1906. — de Lapparent, *Traité de Géologie*, III. Aufl., Paris 1900. — M. Neumayr (Uhlig), *Erdgeschichte*, Leipzig 1906. — R. D. Oldham, *Geology of India*, Calcutta 1893. — Potonié, *Lehrbuch der Pflanzenpaläontologie*, Berlin 1899. — Ramsay, *Physic. Geology of Gr. Britain*, VI. Aufl., London 1894. — de Saporta, *Le monde des plantes*, Paris 1879. — E. Sueß, *Das Antlitz der Erde*, Wien 1886—1891; *La face de la terre*, Paris 1897. — Woodward, *Geology of England and Wales*, II. Aufl., London 1887. — Yukes-Browne, *Handb. of stratigraphical Geology*, London 1902. — Zeiller, *Eléments de Paléobotanique*, Paris 1900. — v. Zittel, *Handbuch der Paläontologie*, München 1876—92; *Grundzüge der Paläontologie*, II. Aufl., München 1903.

Verweise

¹ J. Walther, Über den Bau der Flexuren an den Grenzen der Kontinente, *Jen. Zeitschr. f. Naturw.* 1886; Nansen, *The Norwegian North Polar Expedition 1893/95*, Vol. IV, S. 193. — ² A. Ritter, *Anwendung der mech. Wärmetheorie auf kosmologische Probleme*, Leipzig 1882, S. 14, 16. — ³ v. Sterneek, *N. Jahrb. f. Min.* 1893, I, S. 481. — ⁴ Helmert, *Sitz.-Ber. Acad. Berlin* 1896, S. 409. — ⁵ O. Fisher, *Physics of the earth's crust*, London 1889, S. 34. — ⁶ J. Walther, *Lithogenesis der Gegenwart*, S. 549. — ⁷ van Hise, *Monogr. of the U. S. Geol. Survey* Nr. 47, S. 159. — ⁸ Langley, *Professional Papers of the Signal Survey* XV. — ⁹ A. Heim, *Das Säntisgebirge. Beitr. z. geol. Karte der Schweiz. Lfg. XVI.* — ¹⁰ Arrhenius, *Philosophical Magazine* 1896, Nr. 251.



2

Die geologischen Kräfte

O bwohl alle Völker des Altertums in ihren heiligen Sagen auch die Erschaffung der Erde berücksichtigen, so hat doch nur der Schöpfungsbericht des Moses einen nachhaltigen Einfluß auf das Denken späterer Zeiten gewonnen. Mit der Bibel wurde er über die ganze Erde verbreitet, und jetzt vernehmen wir sein Echo selbst bei den Bewohnern der Wildnis.

Als der Verfasser der Bücher Mosis uralte babylonische Überlieferungen neu redigierte, lag es ihm sicherlich fern, eine Erdgeschichte schreiben zu wollen. Die sieben Schöpfungstage können ebensowenig wie die lange Lebensdauer der Patriarchen als mathematische Zeitangaben betrachtet werden; es sind Größen, welche bestimmt sind, mehr auf das Gemüt, wie auf den rechnenden Verstand zu wirken. Und wenn es noch heutzutage Forscher gibt, welche die geologischen Perioden mit der Tageszahl der alten heiligen Woche in Einklang bringen möchten, so scheinen sie uns den symbolischen Sinn des mosaïschen Berichtes völlig zu verkennen.

Anders verhält es sich mit dem biblischen Berichte von der Sintflut und der Katastrophe von Sodom und Gomorrha. Hier werden in dichterischer Fassung zwei Ereignisse geschildert, denen zweifellos geologische

Vorgänge zugrunde liegen. Durch die babylonischen Ausgrabungen kennen wir jetzt den Originalbericht¹ des Izdubar-Epos, dessen Urschrift um das Jahr 3000 v. Chr. verfaßt, dann von Moses übernommen und als „Sintflut“ beschrieben wurde. Wir lesen da von einer großen Überschwemmung, welche die Niederungen Mesopotamiens verheerte; Erdbeben zerklüfteten den Boden, so daß überall Sturzbäche von Grundwasser hervorbrachen; ein Zyklon führte die Fluten des Meeres weit über das fruchtbare Tiefland, und von den Tausenden von Menschen, die dort lebten, retteten sich nur wenige, die, von den Vorboten der Katastrophe gewarnt, ein wohlgefügtes Schiff betreten hatten.

Die geologische Untersuchung² der Umgebungen des Toten Meeres hat ergeben, daß wohl auch der Untergang von Sodom durch ein großes Erdbeben erfolgte. Der an Erdöl, Asphalt und leicht brennbaren Gasen reiche Boden des Ufergebietes mag bei dieser Gelegenheit zerklüftet worden sein, so daß Explosionen und Entzündungen dieser Massen erfolgen konnten. Selbst die Salzfigur von Lots Weib mag einer richtigen Beobachtung entsprechen, denn von dem Steinsalzlager am Djebel Usdom könnte wohl damals ein Stück abgegliedert und durch die Atmosphären zu einer menschenähnlichen Gestalt umgeformt worden sein.

Lange Jahrhunderte hindurch blieb besonders die Sintflutsage ein notwendiges Requisite jeder dogmatischen oder wissenschaftlichen Erdklärung. Man sah in ihr ein Ereignis, das die ganze Welt betroffen habe, und da die Herkunft so ungeheurer Wassermengen schwer zu erklären war, so war man bemüht, diese Schwierigkeit aus dem Wege zu räumen. Die einen nahmen an, daß die „Wasser der Tiefe“ aus großen Höhlensystemen hervorgebrochen seien und sich dann wieder darin verlaufen hätten. Silberschlag³ erfand sogar einen Apparat, um diese Wasserversetzung physikalisch verständlich zu machen. Andere dachten, daß ein nasser Komet die Erde überflutet und ein trockener Partner den Wasserüberschuß wieder entfernt habe, und so schwankten die Meinungen von einem Dogma zum andern.

Inzwischen hatte man in Oberitalien begonnen, die Schichten der Erdrinde zu untersuchen und fand darin wohlerhaltene Fische, Austern und andere „Seekörper“. Besonders die herrlichen Fischabdrücke des Monte Bolca erregten allgemeine Aufmerksamkeit.⁴ Im Jahre 1707 war bei Santorin⁵ eine neue vulkanische Insel entstanden, auf deren auftauchendem Rücken man Meeresmuscheln gefunden haben wollte, kein Wunder, daß man jetzt statt der Sintflut eine vulkanische Hebung des Landes zur Erklärung geologischer Tatsachen benutzte.

Die mehr phantastischen als wissenschaftlichen Versuche des 18. Jahrhunderts, die Vorgeschichte der Erde zu enträtseln, hatten die „Geologie“ sehr in Mißkredit gebracht; es war daher eine folgenreiche Tat,

als A. G. Werner in Freiberg um das Jahr 1790 statt der „geologischen“ Spekulation die „geognostische“ Untersuchung der Erdrinde als das wichtigste Ziel der Wissenschaft bezeichnete. Leider fiel er aber in die von ihm selbst so sehr gerügten Fehler zurück, indem er die Bildung aller Gesteine und Berge aus einem langsam einschrumpfenden „Urmeer“ zu erklären versuchte. Selbst der Basalt, welcher in Sachsen die höchsten Bergkuppen krönt, sollte aus dem großen Ozean niedergeschlagen worden sein. Gegen diese extreme Auffassung wandten sich namentlich der Thüringer Voigt und der Schotte Hutton, und so begann der Streit der Neptunisten und Vulkanisten, der lange Jahrzehnte hindurch die wissenschaftliche Welt in Atem gehalten und leider gerade in Deutschland mehr geschadet als genützt hat.

In sophistischer Weise wurde endlich von radikalen Neptunisten der Basalt, dessen marine Bildung man schließlich nicht mehr retten konnte, wenigstens für „pseudovulkanisch“, d. h. für ein durch Kohlenbrände umgeschmolzenes Sediment erklärt, und selbst der feinsinnige Beobachter Goethe wurde in den Wirrwarr dieser Irrlehren mit hineingezogen.

Uralt ist das Bestreben, diesen fabelhaften Kräften, diesen unkontrollierbaren Hypothesen, diesen gewalttätigen Phantasiegebilden eine wissenschaftlich klare, leicht nachzuprüfende Methode gegenüberzustellen. Manche sahen dieselbe in dem Experiment, das auf dem Gebiete der Chemie, Physik und Mineralogie so unbeschränkte Beweiskraft besitzt. Aber so oft man auch unternommen hat, kleine und große geologische Vorgänge durch einen Versuch nachzuahmen, ebenso oft mußte man einsehen, daß dem Experiment für die Erklärung geologischer Vorgänge keine zwingende Beweiskraft innewohnt. Sehen wir doch oft, wie ein chemischer Versuch, den wir ohne Mühe im Reagenzglas ausführen können, leicht mißlingt, wenn man ihn in der chemischen Fabrik im großen zu wiederholen versucht; Nebenumstände, die vorher keine Rolle spielten, werden jetzt von maßgebender Bedeutung und verändern das Resultat in tiefgreifender Weise. Zahlreiche geologische Irrlehren sind experimentell „bewiesen“ worden, und oft wurden aus richtig angestellten Versuchen irrige Schlüsse gezogen. So schien die Erfahrung denjenigen recht zu geben, welche meinten, daß eine exakte Beweisführung für geologische Hypothesen überhaupt unmöglich sei. Da wurde langsam eine neue Methode ausgearbeitet, welche zwar auch gewisse Fehlerquellen birgt, die aber in ihrer kritischen Anwendung den ganzen Fortschritt der neueren Geologie begleitet hat.

Hutton⁶ gilt als der erste, welcher den Gedanken aussprach, daß man durch die Beobachtung der jetzt noch tätigen geologischen Kräfte die Rätsel der Vergangenheit erklären solle. Aber wenn wir bei ihm lesen, daß am Boden der Tiefsee sehr hohe Temperaturen

herrschten, welche vermodernden Seetang zu Kohlenlagern umschmolzen, welche frisch gebildete Salzkristalle zu festem Steinsalz zusammenbuden, so verstehen wir, welch weiter Weg zu durchwandern war von der Konzeption dieses Gedankens bis zu seiner methodischen Verwertung.

Da entstand im Jahre 1805 in der Havel bei Pichelsdorf eine neue Insel und regte den Gothaischen Legationsrat Dr. K. v. Hoff⁷ an, ähnliche Erscheinungen zu registrieren, um damit ein Vergleichsmaterial für die früheren Veränderungen der Erde zu gewinnen. Im Jahre 1822 erschien der erste Band seines preisgekrönten Werkes,⁸ das einen Markstein in der Geschichte der Geologie bildet. Noch niemals war mit so klaren Worten die ontologische Methode als Grundlage geologischer Schlußfolgerungen ausgesprochen worden, keiner seiner Vorgänger hatte so umfassende Vorstudien gemacht, um es jedem zu ermöglichen, diese Methode anzuwenden. Im Jahre 1832 erschienen dann die „Principles of Geology“ von Charles Lyell, der zum erstenmal den Hoffschen Gedanken ausführte, allerdings ohne seinen Vorgänger zu nennen, und damit die hohe Entwicklung der modernen Geologie begründete.

In fast unübersehbarer Weise ist seither die Beobachtung der gegenwärtigen Vorgänge gewachsen. Die Tiefsee hat uns ihre Rätsel enthüllt, kühne Reisende haben die Festländer bis nahe an den Pol durchstreift und eine so große Fülle von Tatsachen für die Geologie gewonnen, daß es schon unmöglich ist, dies gewaltige Vergleichsmaterial zu beherrschen, und jeder Versuch⁹, es zu sammeln, fragmentarisch bleiben muß. Aber mit suggestiver Kraft durchdringt der ontologische Gedanke alle Zweige geologischer Forschung. Freilich hat sich unter dem Einflusse von Ch. Lyell allmählich die Vorstellung ausgebildet, als ob alle Vorgänge der Vorzeit sich stets in derselben Weise wie jetzt abgespielt hätten, vielleicht sogar in periodischem Wechsel immer wiederkehrten. Während L. v. Buch mit einem gewaltsamen Rucke die Alpen sich heben ließ, so daß die großen Felsenstücke mit einer Geschwindigkeit von 175 Fuß in der Sekunde bis in die Ebenen flogen und hier als „erratische Blöcke“ zerstreut blieben, möchte man jetzt selbst bei gewaltigen Erdbeben die Schollen der Erdrinde nur um Millimeter sich verschieben sehen, — während man früher die Kontinente auf und ab schaukeln ließ, als wenn die Erde ein Gummiball wäre, suchen manche Forscher jetzt alle Hebungen der Erdrinde auszuschalten und nur langsame Bewegungen des Ozeans für möglich zu halten — und während Cuvier nur gewaltsame Katastrophen kannte, die in wiederholtem Wechsel alle Lebewesen der Erde vernichteten und eine Neuschöpfung der Organismen bedingten, spielt jetzt der unmerkliche Übergang einer Varietät in die andere eine so wichtige Rolle, daß sich die geologischen Zeiträume über alle Vorstellung hinaus verlängern.

Auch wir sind von der langen Dauer der geologischen Perioden überzeugt, wir glauben nicht an Katastrophen und wunderbare Revolutionen der ganzen Erde, wir betrachten die Entwicklung einer Tierform aus der anderen als die einzige wissenschaftliche Erklärung der paläontologischen Tatsachen. Aber es gab Zeiten, in denen die Zustände der unorganischen Erde sich rasch wandelten und Perioden, in denen nur langsame Änderungen erfolgten. Manche geologischen Ereignisse waren so eigenartig, so seltsam, daß sie sich nicht ohne weiteres nach den Vorgängen der Gegenwart beurteilen lassen, ihre Wirkungen auf die organische Natur waren bisweilen von so tiefgreifender Macht, daß in einem verhältnismäßig kurzen Zeitraume die größten Umgestaltungen der organischen Formen erfolgten.

Wir betrachten es als die wichtigste Aufgabe unseres Buches, gerade auf derartige einzigartige Erscheinungen besonders hinzuweisen und selbst von lokalen geologischen Katastrophen zu sprechen, wenn wir gewaltsame Änderungen im Schichtenbau der Erdrinde erkennen.

Mit dieser durch den Fortschritt der Wissenschaft nötig gewordenen Beschränkung halten wir aber die ontologische Methode für die wichtigste Leuchte, um das Dunkel der geologischen Vorzeit zu enthüllen.

War früher die geologische Forschung vielfach der divinitorischen Begabung des einzelnen Geologen überlassen, so gibt uns die ontologische Methode jetzt einen Kompaß in die Hand, der, recht gehandhabt, unser Steuer einem großen glänzenden Ziele entgegenlenken soll.

So wollen wir jetzt zuerst versuchen, die Mannigfaltigkeit der gegenwärtigen irdischen Vorgänge auf ihre großen Kraftquellen zurückzuführen.

Die Erde ist ein Stern und als solcher ein Teil des Sonnensystems; dieses aber ist eine dynamische Einheit. Alle sich in demselben abspielenden Bewegungsvorgänge können ohne Zwang durch die innerhalb des Sonnensystems waltenden Kräfte erklärt werden. Es liegt nicht die geringste Veranlassung vor, die tellurischen Vorgänge auf irgend eine, außerhalb des Sonnensystems herrschende Kraft zurückzuführen; selbst die bisweilen angenommene, verschiedene Temperatur des Weltenraumes ist für die Erklärung geologischer Vorgänge vollkommen entbehrlich.

Wenn unsere Erde als isolierter erkalteter Stern im Weltenraume schwebte, von keinem benachbarten Weltkörper angezogen, von keiner Sonne durch Licht- und Wärmestrahlen übergossen, so würde nur die Schwerkraft auf ihr tätig sein. Diese würde bewirken, daß lockere und weiche Massen von den Höhen zur Tiefe glitten, daß Berge sich langsam erniedrigten, die Täler sich allmählich mit Schuttmassen anfüllten. Bald wäre ein allgemeiner Gleichgewichtszustand erreicht und ewige Ruhe herrschte vom Pol bis zum Äquator, nur gelegentlich unterbrochen von dem Herniederprasseln eines Meteorsteins.

Daß tatsächlich die Erdrinde der Schauplatz beständiger Veränderungen war und ist, liegt an der Einwirkung äußerer und innerer Kräfte, welche der Schwerkraft entgegenarbeiten, und die wir jetzt auf ihre wichtigsten gemeinsamen Ursachen zurückführen wollen.

Unter den irdischen Vorgängen spielen die atmosphärischen Niederschläge die bekannteste Rolle. Schnee und Regen fallen aus der Luft hernieder, Flüsse und Gletscher strömen über das geneigte Gelände und riesige Schuttmassen werden spielend dabei bewegt. Wenn bei einer Überschwemmung des Hoangho eine Million Menschen umkam, wenn der mächtige Wasserfall des Niagara sich eine 10 km lange und 100 m tiefe



Figur 4.
Beginn eines Staubsturmes in Neu-Südwesten.

Schlucht durch feste Steintafeln gegraben hat, wenn ein Bergsturz vor Menschengedenken das Rheintal bei Flims 100 m hoch mit Steinen auf-füllte, durch die sich seither der grüne Strom eine enge malerische Schlucht einschnitt, wenn ganz Norddeutschland zur Eiszeit mit einer oft 100 m mächtigen Decke nordischer Gerölle und Sande überschüttet wurde so sind das Teilerscheinungen der Kräfte, die durch fallende Wassermassen ausgelöst werden; und alle diese mannigfaltigen Phäno-mene wurzeln in der Sonnenwärme.

Ein Wirbelsturm im Oktober 1844 entfaltete auf der Insel Kuba¹⁰ fast 500 Millionen Pferdekräfte; das entspricht ungefähr der täglichen Lei-stung sämtlicher Dampfmaschinen der Welt. In den dürrn Sandwüsten sehen wir 30 m hohe Sandberge unter dem Einflusse des Windes in Be-

wegung; die Dünenkämme der Karakum wandern während des Sommers 18 m nach Süden; himmelhoch jagt der Samum (Fig. 4) seine braunen Staubwolken in die Lüfte. Ungeheure Kraftmengen entfesselt ein Sturm auf dem Meere; er treibt das Wasser in 15 m hohen Wellenkämmen daher, und an der Küste erhebt sich (Fig. 5) die Brandungswoge sogar 60 m hoch. Derselbe Wind versetzt ganze Meeresteile in eine gleichsinnige Bewegung, so daß der Golfstrom an den Küsten von Florida mit einer Geschwindigkeit von 2 m in einer Sekunde vorbeiflutet, — und alle diese Bewegungen werden ausgelöst durch die Sonnenwärme.



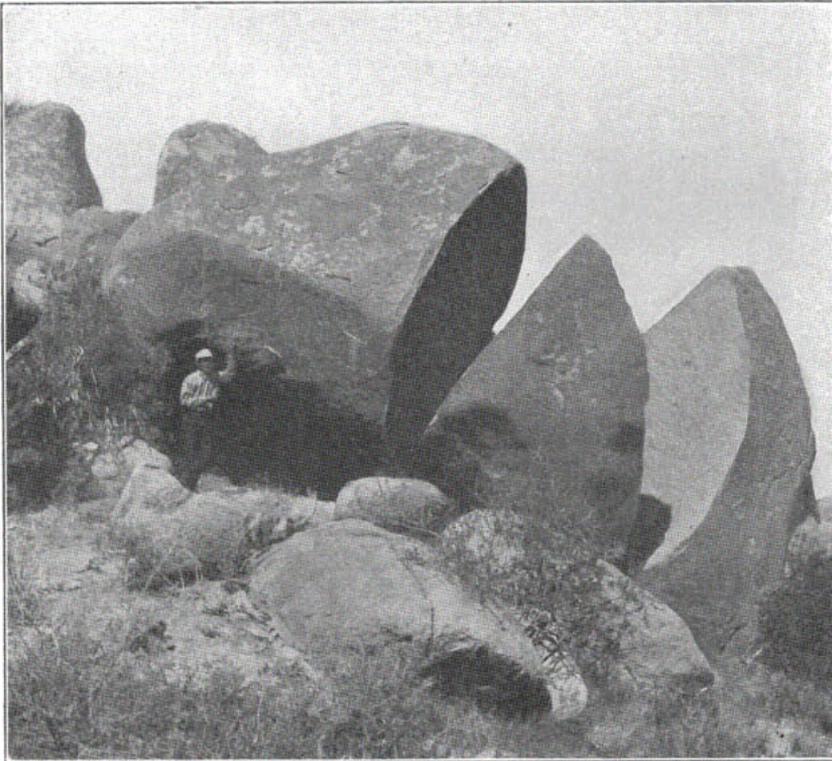
Figur 5.

Brandungswoge an der englischen Küste.

Wenn wir im Hochgebirge an steilen Felswänden vorbeiwandern, welche eben von den wärmenden Strahlen der Sonne getroffen werden, dann schmilzt das Eis in den Felsenspalten, und in gefährlichen Steinschlägen stürzen große Blöcke herab, um sich am Fuße des Abhangs zu hohen Schutthalden aufzuhäufen. In den Wüsten sehen wir haus hohe Granitblöcke (Fig. 6) wie eine Apfelsine in Stücke zerlegt, die durch Temperaturdifferenzen gespalten wurden. Andere Granitfelsen zerbröckeln zu einem groben Sande, den der Samum rundet und zu hohen Dünen aufhäuft. Die hierbei herausgeblasenen staubförmigen Teilchen trägt der Wind aus der Wüste heraus und häuft sie in den umgebenden Steppenländern zu 100 m hohen Lößlagern (Fig. 20) auf. Und

wiederum ist es die Sonnenwärme, auf die wir diese Erscheinungen zurückführen müssen.

In jeder Sekunde gelangen 3800 Milliarden Pferdekräfte als Sonnenwärme auf die Erde herab. — Kein Wunder, daß auch das Räderwerk der tellurischen Kräfte so tief beeinflußt wird von den thermischen Strahlen des fernen Feuerballes. Aber mit der Wärme kommen ungeheure Strahlenbündel von Licht zu uns, die ebenfalls auf unserem Planeten wunderbare Wirkungen ausüben.



Figur 6.

Granitblock in der Sierra de los dolores (W. Texas); in drei Stücke gesprungen durch die abkühlende Kraft eines Gewitterregens nach starker Besonnung.

Sobald der Winter sein Ende erreicht, verändert sich in unseren Breiten das Landschaftsbild durch das Wachsen, Grünen und Blühen der Pflanzen. Wenn wir uns klar machen, welche Gewalt es erfordert, einen großen Baum wachsend über den Erdboden zu erheben, welche Kräfte bei der Entfaltung der Blätter und Zweige frei werden, welche Energie die zahllosen Tiere auslösen, vom Flügelschlage des Schmetterlings bis zum Sprunge des Löwen, dann können wir ahnen, welche

Kräfte die Biosphäre als Ganzes genommen entfaltet. Und wenn wir 500 m hohe Kalkfelsen von Korallen und anderen kalkabscheidenden Tieren und Pflanzen gebildet sehen, oder die Kohlenlager ins Auge fassen, welche in uralten Zeiten den Erdschichten eingeschaltet wurden, dann erkennen wir die geologische Bedeutung des organischen Lebens. Aber alle diese Vorgänge werden und wurden eingeleitet durch die Kohlensäure-Assimilation grüner Pflanzen, und da diese nur unter dem Einflusse der Lichtstrahlen zustande kommt, so sind alle organischen Bewegungen und Wirkungen eine Folge des Sonnenlichtes.



Figur 7.

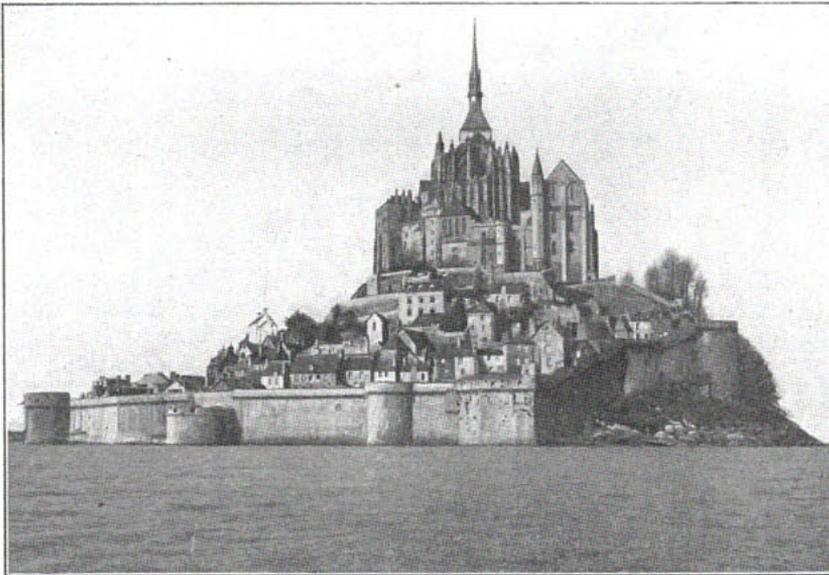
Die Abtei St. Michel in der Bretagne (von Nordosten) bei Ebbe.

In der Gegenwart spielt die Ebbe und Flut des Meeres eine zwar bemerkenswerte, aber doch nur geringfügige Rolle im Wechselspiel der tellurischen Veränderungen. Anders war es in der Urzeit, als sich die Erde rascher um ihre Achse drehte, der Mond ihr näher stand und der irdische Tag, wie G.H. Darwin gezeigt hat, statt 24 Stunden nur 4 Stunden lang war.

Indem sich die Zenit- und die Nadirflut des Mondes und der Sonne auf der bewegten Erde reiben, wird die Rotation unseres Planeten verlangsamt und der Tag verlängert. Bei Sturmfluten werden gewaltige Kräfte ausgelöst. Donnernd bricht sich die Welle am Gestade, unterwühlt die Felsenküste, zerreißt die Dünen und überflutet die durch sie geschützten Niederungen. Alle damit zusammenhängenden geologischen Veränderungen werden also durch kosmische Massen

beeinflußt, und so tritt die Anziehung von Mond und Sonne in die Reihe der großen geologischen Kräfte.

Von grundlegendem Einflusse auf die Wirkungsweise aller bisher betrachteten Vorgänge ist die Stellung der Erdachse im Sonnensystem. Die Licht- und Wärmestrahlen der Sonne treffen in paralleler Richtung auf die Erdoberfläche, und während sie am Äquator ihre ganze Kraft entfalten können, mindert sich diese mit zunehmender geographischer Breite. Durch die schiefe Stellung der Erdachse gegenüber der Sonnenbahn (Ekliptik) wird abwechselnd ein halbes Jahr lang die nörd-



Figur 8.

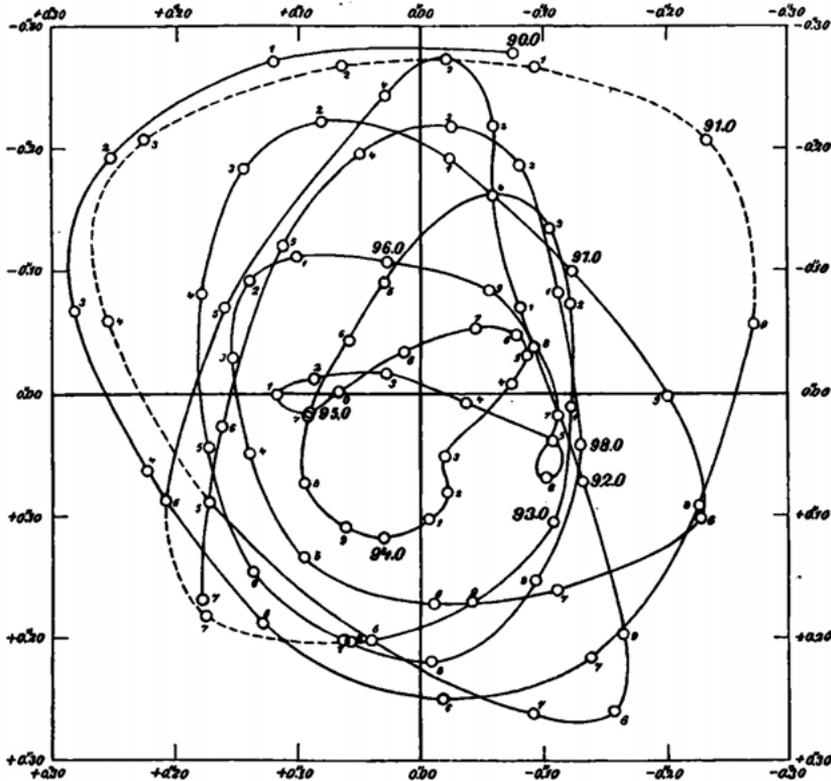
Die Abtei St. Michel (von Osten) bei Flut.

liche und dann die südliche Halbkugel mit einer größeren Menge von Sonnenwärme bedacht. Während die Schiefe der Ekliptik jetzt 23° beträgt, war sie um das Jahr 29400 v. Chr. sogar 27° und um 14400 v. Chr. nur 21° .

Die sogenannte Nutation der Erdachse vollzieht sich in einer Periode von 10 Jahren und ist daher geologisch ohne wesentlichen Einfluß, aber die Präzession ist vielfach zur Erklärung geologischer Veränderungen herangezogen worden. Man versteht darunter die langsame Bewegung der Äquinoktialpunkte auf der Ekliptik. Durch dieselbe wird in einer Periode von 26000 Jahren bald die nördliche, bald die südliche Halbkugel mehr erwärmt und belichtet. Aber auch diese perio-

disch wiederkehrende Erscheinung konnte bisher nicht in den geologischen Urkunden wiedererkannt werden.

So bleiben schließlich nur die geringen unperiodischen Schwankungen des Poles übrig, die durch neuere Untersuchungen über die Änderung der Polhöhe nachgewiesen (Fig. 9) werden konnten, und die es nicht unwahrscheinlich machen, daß bisweilen auch beträchtlichere Änderungen in der Lage der Erdachse eingetreten sind.



Figur 9.

Die Wanderung des Nordpols in den Jahren 1890—1898.

Wo wir Gelegenheit finden, das Gefüge der Erdrinde zu untersuchen, beobachten wir vielfach eigentümliche Faltenbiegungen (Fig. 10). In den Hochgebirgen und den Gebieten der sogenannten kristallinen Schiefer liegen diese Falten zutage, oft sind sie tief unter horizontalen Gesteinsdecken verborgen, aber fast überall können wir im Grundgebirge den Faltenbau erkennen. Wir wissen, daß die gefalteten Schichten einstmals horizontale Bänke und Decken bildeten, daß zu verschiedenen Zeiten bald hier, bald dort die Erdrinde zusammengeschoben wurde; und

wenn wir alle diese Falten ausglätten könnten, so würden sie vielleicht reichen, um mit dieser Erdrinde zwei Kugeln vom Durchmesser der heutigen Erde zu umspannen.

Diese Tatsachen drängen zu dem unabweisbaren Schlusse, daß die Erdkugel einst größer war, und daß ihr das Rindenkleid angemessen wurde zu einer Zeit, als sie einen viel größeren Durchmesser besaß. Eben so sicher erscheint es aber, daß eine Zusammenziehung des Erdballes durch die ganze Dauer der geologischen Perioden hindurch erfolgt ist. Erdbeben und Gebirgsbildung, die Entstehung von Spalten und Klüften,



Figur 10.

Zu einem Sattel gefaltete Muschelkalkschichten im Wolfsgrund bei Gotha.

Hebung und Senkung, Verschiebungen und Überschiebungen — alles dies hängt mit dem Schrumpfungsprozesse der Erdkugel ursächlich zusammen.

Der Weltenraum ist eisig kalt. Schon bei Ballonfahrten im Sommer hat man in einer Höhe von 12 km Temperaturen von -60° beobachtet, und es ist wahrscheinlich, daß die Wärme des Weltenraumes sich noch viel weiter vom Nullpunkte entfernt. Der von einer dünnen Steinhaut umgebene Erdball aber enthält einen ungeheuren Vorrat an Wärme. Selbst wenn die Erdrinde überall eine Temperatur von -60° zeigte, so würde trotzdem noch die Temperaturdifferenz gegen den Weltenraum mehr als 100° betragen. Wenn, wie manche glauben, diese Wärme-

abgabe mit der Umbildung radioaktiver Substanzen zusammenhängt, so ändert das doch nichts an der Tatsache, daß unsere Erde heute, ebenso wie in der Vorzeit, überall und beständig Wärme verliert.

Wärmeverlust ist gleichbedeutend mit Volumverminderung. Wohl hat Ritter¹¹ gezeigt, daß eine durch Wärmeverlust sich zusammenziehende Gaskugel — und gasförmig ist wohl der Erdkern — wärmer wird; aber die Volumverminderung bleibt bestehen, und indem wir sie als die eigentliche Ursache des Faltungsprozesses betrachten, erkennen wir in der Wärmeabgabe des Erdkernes an den Weltraum eine großartige geologische Kraft.

Die Entstehung der Vulkane, der Thermen, der Geysire und Mofetten steht in so engem Zusammenhange mit dem Gebirgsbildungsprozesse, daß wir auch hier auf dieselbe Kraftquelle geführt werden.

Allein neben den durch Brüche ausgelösten Spannungen und den kurzweiligen Gebirgsfalten erkennt man in der Erdgeschichte andere Bewegungen, die das Verhältnis von Land und Wasser sehr wesentlich umgestalten. Es gibt Perioden, wo das Meer seine Grenzen verläßt, unaufhaltsam gegen die Küsten drängt und langsam ganze Kontinente überschreitet. Auf Ablagerungen mit festländischen Pflanzen und Tieren folgen dann im geologischen Profile marine Gesteine voll von den Schalen einstiger Meeresbewohner, oder die Sedimente einer eng begrenzten Meeresbucht werden überlagert von weit ausgedehnten Deckschichten der folgenden Periode. Man bezeichnet dieses Eindringen des Ozeans nach dem Festlande als Transgression und die entsprechenden Rückzugserscheinungen als Regression. Viele Geologen sehen die Ursache dieser Phänomene in einer aktiven Bewegung des flüssigen Elements. Von rätselhaften Kräften angezogen, soll das Meer seine Tiefen und seine Grenzen ändern und bald erobernd gegen das Festland vordringen, bald in langsamem Rückzuge seinen Boden an das Tageslicht bringen und neue Länder schaffen. Wir werden bei einer späteren Gelegenheit zu zeigen haben, daß viele sogenannte Transgressionen nichts weiter sind als tiergeographische Wanderungen einzelner Faunen oder sogar nur Veränderungen des Salzgehaltes litoraler Gewässer; aber auch wenn wir solche Fälle ausschalten, bleiben noch immer eine ganze Reihe „echter“ Transgressionen des Ozeans übrig.

Wir neigen uns der älteren Auffassung zu, die als die Ursache der Transgressionen langsame flache Aufwölbungen oder Hinabbiegungen der unter den größeren Meeresbecken liegenden Stücke der Erdrinde betrachtet. Es wäre doch sehr seltsam, wenn zwei Drittel der Erdkugel nur deshalb keinerlei Bewegungen erlitten, weil darüber eine Schicht leichten Meerwassers steht, während wir doch auf allen Festländern sehen, daß Schichtenstöße fester, schwerer Gesteine von 3000 und mehr

Metern Mächtigkeit spielend durch den Faltungsvorgang gebogen und gehoben werden konnten.

Wir müssen uns darüber klar bleiben, daß die Pyrosphäre aus verschieden dichten und verschieden schweren Schlieren zusammengesetzt ist, welche unter dem Einflusse der allgemeinen Abkühlung des Erdballs seltsame Diffusionsbewegungen erleiden, langsam ihren Ort wandeln und sich an ihren Grenzen gegenseitig durchfließen. Stets folgt, wie erst kürzlich¹² trefflich ausgeführt wurde, die dünne Erdhaut diesen Fundamentalbewegungen, und bildet sie vielfach verändert, in Gestalt von flachen Auf- und Abbiegungen ab.

Wenn wir zum Schlusse alle bisher betrachteten geologischen Veränderungen unseres Planeten mit Rücksicht auf die ihnen zugrunde liegenden Kraftquellen zusammenstellen sollen, so ergibt sich folgendes Bild:

Meteorfälle, Bergstürze, Sedimentbildung, Oszillation der Strandlinie usw.
bedingt durch die Schwerkraft der Erde.

Gezeiten, Sturmfluten, Verlängerung des Tages, Nutation, Präzession
(Schwankungen der Erdachse?)
bedingt durch Anziehung von Sonne und Mond.

Physikalische Verwitterung, Kreislauf des Wassers, Winde, Meereswellen,
Strömungen, Regen, Schnee, Flüsse, Gletscher, Verdampfung von ab-
flußlosen Becken usw.
bedingt durch die Wärmestrahlen der Sonne.

Organisches Leben, Leitfossilien, Kalkbildung, Dolomit, Kohle
bedingt durch die Lichtstrahlen der Sonne.

Gebirgsbildung, plutonische Herde, Vulkane, Thermen, viele Trans-
gressionen und Regressionen, säkulare Hebung und Senkung großer
Flächen, vielleicht auch Polverschiebungen
bedingt durch die Wärmeabgabe der Erde an
den Weltenraum.

Durch das Wechselspiel dieser Kräfte entsteht jene kaum zu über-
sehende Mannigfaltigkeit der geologischen Vorgänge in der Gegenwart,
und wir sind der Überzeugung, daß auch in der geologischen Vor-
zeit keine anderen Kräfte tätig waren. Es wird die Aufgabe der
folgenden Kapitel sein, zu zeigen, wie merkwürdige Wechselbeziehungen
zwischen den genannten Kräftegruppen bestehen, wie unerwartete Wir-
kungen durch sie hervorgebracht und weitreichende Kausalreihen durch
sie veranlaßt worden sind. Zugleich aber gedenken wir den Beweis zu

führen, daß nicht der geringste Grund vorliegt, andere außerirdische oder rätselhafte Wunderursachen zur Erklärung der Geschichte der Erde und des Lebens anzunehmen.

Die Fülle des geologischen Geschehens, die tatsächliche Aufeinanderfolge der Ereignisse, die reiche Entfaltung des organischen Lebens sind für Jeden, der sie ernsthaft betrachtet, ein so zauberhaftes Bild, daß man nur die Augen zu öffnen braucht, um sich überall von „natürlichen“ Wundern umgeben zu sehen.

Zum Schluß müssen wir aber noch eine interessante Seite des erdgeschichtlichen Problems hervorheben: Wenn wir die Aufeinanderfolge geologischer Ereignisse, wie sie uns die Schichten der Erdrinde in klarer Sprache erzählen, unbefangen überschauen, dann drängt sich uns die Tatsache auf, daß der Gang der Erdgeschichte keineswegs immer im ruhigen Gleichmaße verlief. Wohl gibt es lange Perioden, in denen eine Schicht voll Meerestiere über die andere gebreitet wurde, oder an einem anderen Orte Hunderte von Metern gleichartige fossillere Sandsteindecken übereinander gebaut wurden. Es gibt Zeiten, in denen die Arten der Tiere, durch unmerkliche Übergänge verbunden, ruhig aufeinanderfolgen, und wo die Gattungen sich mit der Regelmäßigkeit einer periodischen Erscheinung ablösen. Dann aber sehen wir mit einem Male, wie alle diese ruhigen Kausalreihen unvermittelt durchbrochen werden. Tumuluarisch gebildete Konglomerate bauen sich lokal zu ungeheurer Mächtigkeit, auf festländischen Kohlen liegen plötzlich marine Kalke, mitten zwischen mächtigen versteinungsleeren Sandsteinen tritt eine nur wenige Zentimeter hohe Schicht auf, die mit zahllosen Meerestieren erfüllt ist. Oder aber nach Perioden langer Ruhe dringen plötzlich vulkanische Massen aus den Tiefen der Erdrinde auf, und wo vorher ein ebenes Hügelland war, erheben sich schneebedeckte Vulkanriesen. Auch das organische Leben scheint zu gewissen Zeiten ganz anderen Gesetzen zu gehorchen, mächtige Antriebe verändern rasch ganze Faunen; Tiergruppen, die eine lange Zeit verborgen und kümmerlich dahinvegetierten, deren seltene Vertreter keine Rolle im Faunenbild spielten, blühen mit einem Male mächtig auf, bilden zahllose Gattungen und Ordnungen, bevölkern ungeheure Strecken neuen Landes und erscheinen mit wunderbarer Schnelle an den fernsten Fundorten.

Man hat diese oft übersehenen lithologischen und biologischen Kontraste in den geologischen Dokumenten, die sprungweise Entwicklung ganzer Floren und Faunen und die Grenzen der großen geologischen Perioden ausschließlich durch die Lückenhaftigkeit der geologischen Urkunde zu erklären versucht. Allein so fest wir von dem phyletischen Übergange einer Tierart in eine andere, wie von der lang-samen Wirkung der einzelnen Naturkräfte überzeugt sind, und so zweifello-

Lücken in der Überlieferung erdgeschichtlicher Ereignisse vorhanden sind, so scheint uns doch die Annahme, als ob alle jene Sprünge, Lücken und Kontraste nur scheinbar wären, den Tatsachen nicht gerecht zu werden.

Wir möchten schon hier darauf hinweisen, daß im Wechselspiele der irdischen Kräfte zwei verschiedene Kausalreihen nicht notwendig in demselben Sinne und derselben Stärke tätig sein müssen. Oft werden sie interferieren und entweder ihre Wirkung gegenseitig beeinträchtigen oder steigern. Zum Beispiel kann eine Verminderung der Sonnenwärme, vielleicht bedingt durch die Vermehrung der Sonnenflecke, für eine bestimmte Breite dadurch vollkommen ausgeglichen werden, daß sich gleichzeitig die Erdachse im umgekehrten Sinne verschiebt, so daß die klimatische Erwärmung des betreffenden Ortes kaum verändert wird. Die Hebung eines gewaltigen Faltsystems braucht keineswegs zur Bildung eines hohen Gebirges zu führen, wenn gleichzeitig eine intensive Verwitterung die entstehenden Faltenzüge beständig erniedrigt. Ein reichbesiedelter Kontinent kann einen beträchtlichen Landzuwachs erhalten, ohne daß dadurch seine Flora und Fauna wesentlich verändert wird, denn wenn das Wachsen nach Längengraden erfolgt, werden ganz andere Siedlungsbedingungen geschaffen, als wenn das Land sich polwärts verbreitert.

Wenn aber einmal zufällig mehrere Kausalreihen geologischer Veränderungen in derselben Richtung umgestaltend tätig sind und ihre Wirkung gegenseitig steigern, dann kann durch das Zusammentreffen von Vorgängen, die, einzeln betrachtet, keine wesentliche Umgestaltung hervorrufen konnten, doch eine großartige Wirkung ausgeübt werden.

Es soll unsere besondere Aufgabe sein, solch einzigartige, bedeutungsvolle Ereignisse aus der langen Reihe unmerklicher Veränderungen klar herauszuheben. Wir wollen zeigen, daß die Erdgeschichte meist im langsamen Schritte dahingezogen ist, bisweilen aber in rascher Folge der Ereignisse neue unerwartete Wege einschlug und in schnellerem Tempo ihrer eigenen Entwicklung vorauseilte. Betreffen solche energische Veränderungen die anorganische Natur, das geographische Antlitz der Erde, dann könnte man von einem „heroischen Zeitalter“ sprechen, handelt es sich aber um eine sehr tiefgreifende Umgestaltung einzelner oder gar mehrerer zusammenlebender Tiergruppen, dann wird das Wort „Anastrophe“ die bemerkenswerte Tatsache kennzeichnen.

Da manche der oben angeführten geologischen Veränderungen auf periodisch wiederkehrende Ursachen zurückzuführen sind, ist oftmals der Versuch gemacht worden, auch die geologischen Ereignisse als periodische Prozesse zu betrachten. Bald hat man periodische Eiszeiten, bald einen geschlossenen Zyklus der marinen Ablagerungen, bald eine regelmäßige Verlagerung des Ozeans von den Polen nach dem

Äquator, bald einen gesetzmäßigen Rhythmus in der Umbildung der Organismen nachweisen zu können geglaubt.

Aber wenn wir ohne Vorurteil die chronologisch völlig gesicherte Aufeinanderfolge geologischer Ereignisse betrachten, dann sehen wir zwar überall lithogenetische, phylogenetische oder bionomische Kausalreihen, aber diese kehren niemals wieder zu ihrem Ausgangspunkte zurück, und alle Versuche, eine periodische Wiederkehr dieser Vorgänge in den Schichten der Erdrinde nachzuweisen, tun den Tatsachen Gewalt an.

Verweise

¹ E. Sueß, Das Antlitz der Erde I, S. 29; Duparc, Le déluge biblique, Genève 1897. — ² Blanckenhorn, Z. d. Deutschen Palästinavereins XIX, 1896; Diener, Mitteil. der K. k. Geogr. Gesellschaft, Wien 1897. — ³ E. Silberschlag, Geogenie oder Erklärung der mosaïschen Erderschaffung nach physik. und mathem. Grundsätzen, Berlin 1780. — ⁴ Valisneri, De' corpi marini che su' monti si trovano, Venezia 1721. — ⁵ Lazaro Moro, De' crostacei e degli altri marini corpi che si trovano su' monti, Venezia 1740. — ⁶ Hutton, Theory of the earth, Edinburgh 1790. — ⁷ Reich, K. E. A. von Hoff, der Bahnbrecher moderner Geologie, Leipzig 1905. — ⁸ K. E. A. von Hoff, Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche, Berlin 1822—1841. — ⁹ J. Walther, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft, Jena 1893/4. — ¹⁰ Ampferer, Z. d. K. k. geol. R.-Anstalt, Wien 1906, S. 539.



3

Die Stellung der Erde im Sonnensystem

Wenn das durch Raum und Zeit beschränkte Auge des Menschen eine Pflanze wachsen sieht, die sich mit bunten Blüten schmückt und endlich welkend zu Boden sinkt, dann glaubt er, daß etwas neu entstehe und wieder verschwinde, und spricht von Werden und Vergehen. Der Naturforscher aber weiß, daß sich dabei nur die Form des Stoffes wandelte und sieht nicht Anfang und Ende, sondern nur den Wechsel der Erscheinungen.

Auch am Himmelsgewölbe glaubte man ähnliche Vorgänge zu beobachten. Eine durch das Alter geheiligte Ansicht läßt die ganze Welt aus dem Nichts entstehen und rechnet mit ihrem materiellen Untergange, ohne zu bedenken, daß vorhandener Stoff nicht zerstört, neuer Stoff nicht geschaffen werden kann, daß wir im Weltgeschehen nur den Querschnitt endloser Kausalreihen sehen, die sich vorwärts und rückwärts im Dämmerseine der Unendlichkeit verlieren.

Auch unsere Erde ist einmal entstanden, jedoch nur in dem Sinne, daß vorhandene Weltenmaterie sich zu unserem Planeten zusammenballte, und unsere Erde wird vergehen, indem der sie bildende Stoff neue Formen annimmt.

Kant¹ nahm an, daß der ursprünglich über die Neptunsbahn hinausreichende Nebel in langsame Rotation geriet, daß sich dann ein äußerer Ring absonderte, vergleichbar dem Ringe des Saturn, daß der Ring zerriß und sich zum ältesten Kinde der Sonne, dem äußersten Planeten, zusammenballte. Lange Perioden hindurch zog sich der Nebel weiter zusammen und bildete nacheinander Neptun, Uranus, Saturn, Jupiter, Mars, Erde, Venus und Merkur.

Die meisten Planeten wiederholten im kleinen den Entwicklungsgang des ganzen Systems, um ihre Monde abzusondern.

Neptun bildete	1	Mond
Uranus	„	4 Monde
Saturn	„	8 „
Jupiter	„	5 „
Mars	„	2 „
Erde	„	1 „

Daß der Saturn außer seinen acht Monden noch einen Ring besaß, schien den besten Beweis für jene Hypothese zu bilden, obwohl gerade diese Tatsache eine große Schwierigkeit enthält. Waren die acht Saturnmonde gleichzeitig oder nacheinander entstanden? war der Ring im Begriffe, einen neuen Mond zu bilden? — alle diese Fragen blieben unbeantwortet.

Der französische Mathematiker und Astronom Laplace² veröffentlichte fünfzig Jahre später eine der Kantschen Theorie überaus ähnliche Ansicht, allerdings ohne Kants Priorität auch nur mit einem Worte zu erwähnen. Er sah besonders in der gleichsinnigen Bewegung aller Planeten und ihrer Monde einen zwingenden Beweis für die Richtigkeit seiner Theorie und erklärte, daß man nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit 1:1000 Milliarden wetten könne, daß auch ein vielleicht noch unentdeckter Mond sich ebenfalls in der normalen Richtung von rechts nach links bewegen müsse.

Als man aber die Monde des Neptun und Uranus auffand, stellte sich heraus, daß sie sich den anderen Himmelskörpern gegenüber rückläufig bewegten.

Seither sind aber noch manche andere astronomische Tatsachen bekannt geworden, die sich schwer mit jener so einleuchtenden Ansicht vereinigen lassen:

Es scheint wahrscheinlich, daß die äußeren Planeten noch mit

eigenem Lichte leuchten, also jünger sein könnten wie ihre inneren Brüder; der Saturnring löst sich unter dem Fernrohre in ein rotierendes System fester Körperchen auf; die Doppelsterne zeigen uns zahlreiche Fälle einer wesentlich anderen Verteilung der Masse in einem Fixsternsystem, und das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, zusammen mit den jüngsten Forschungen über die radioaktiven Substanzen, hat uns ebenfalls neue Gesichtspunkte für die genetische Beurteilung unseres Sonnensystems gegeben.

Unser Sonnensystem zeigt eine sehr eigenartige Verteilung der Masse, denn der Zentralkörper ist siebenhundertmal so groß als alle Planeten und Monde zusammen genommen. Das Übergewicht des Zentralkörpers wird durch folgende Erwägung besonders drastisch beleuchtet: Wenn man die in unserem Sonnensystem vorhandene Masse auf den Raum der Neptunbahn gleichmäßig verteilen wollte, dann würde in einem Würfel von 570 m Kantenlänge nur 1 g Weltenstoff vorhanden sein. (Dagegen würde ein solcher Würfel, mit atmosphärischer Luft gefüllt, 240000000 kg wiegen.) Die ungeheure Öde und Leere des heutigen interplanetarischen Raumes in unserem Sonnensystem wird dadurch treffend gekennzeichnet.

Betrachten wir nun andere Weltensysteme am Himmelsgewölbe, so sehen wir bald, daß unser Sonnensystem keineswegs den einzigen Typus der Verteilung der Massen darstellt. Die Astronomen unterscheiden unter den Weltkörpern daneben folgende Gruppen: zuerst die kosmischen Nebel, die entweder eine gleichartig-chaotische Massenverteilung zeigen oder einzelne Verdichtungen erkennen lassen. Trotz der verschiedensten Formen des Umrisses und der Massengruppierung stimmen ihre Spektren ganz auffallend überein. Danach bestehen die Nebelflecken aus leuchtenden Gasen in überaus großer Verdünnung; Wasserstoff und Helium sind leicht nachzuweisen, andere Spektrallinien lassen sich schwer identifizieren. Es ist fraglich, ob man annehmen darf, daß sich die astronomisch sichtbaren kosmischen Nebelflecke in Fixsterne verwandeln können, denn sie zeigen eine wesentlich andere chemische Zusammensetzung als diese, jedenfalls stehen sie ziemlich unvermittelt den anderen Weltmassen gegenüber.

Einen bemerkenswerten Typus bilden die Nebelsterne,⁵ bei denen innerhalb einer nebligen Masse ein heller Stern schwebt, und die mit einem gewissen Rechte als beginnende Fixsternbildungen betrachtet werden können.

Sehr merkwürdig sind die neuerdings in ungeheurer Zahl (gegen 20000) nachgewiesenen Doppelsterne.⁶ Es sind Systeme, deren Masse in mehrere gleiche oder ungleiche Teile zerlegt ist, die sich um einen gemeinsamen Mittelpunkt bewegen. Aus der Helligkeit der beiden

Partner kann man mit einem gewissen Rechte auf die Größenverhältnisse derselben schließen:

γ Virginis	zeigt zwei Sterne mit der Helligkeit	3:3
der Polarstern	„ „ „ „ „ „	2:9
Sirius	„ „ „ „ „ „	1:9
Aldebaran	„ „ „ „ „ „	1:11.

Vielfach ist aber der eine Stern unsichtbar und wohl schon völlig erkaltet; nur aus den Bewegungen seines leuchtenden Bruders kann man seine Existenz erschließen. Besonders interessant ist dabei, daß manche dieser dunklen Sterne (Lyra-typus) periodisch aufleuchten, nicht etwa, weil sie, wie bei Algol, durch den anderen Stern vorübergehend verdeckt wurden, sondern wahrscheinlich, weil durch diesen eine Flutwelle erzeugt wird, welche die dünne erkaltete Kruste zerreißt und eine Überflutung durch glühende Magmaströme hervorruft.

Die Dimensionen der einzelnen Sonnen innerhalb eines Doppelsternsystems lassen sich nach ihren Umlaufzeiten schätzen. Die Umlaufzeit

von δ Equulei	beträgt	11,5 Jahre
„ 42 Comae	„	25,7 „
„ Sirius	„	49,4 „
„ γ Virginis	„	169,5 „
„ ν im Löwen	„	296 „
„ 36 Andromeda	„	349 „
„ Z im Wassermann	„	1578 „

Ein vierter Typus sind die Sternhaufen, die allem Anscheine nach einheitliche Systeme von zahlreichen großen glühenden Himmelskörpern bilden. Z des Krebses besteht aus nur drei Sternen von gleicher Helligkeit, von denen der eine sich in 60, der andere in 700 Jahren um den gemeinsamen Mittelpunkt bewegt. Im θ des Orion bewegen sich vier Hauptsterne, IV., VI., VII. und VIII. Größe, und zwei kleine, fast unsichtbare Sternchen. Andere Sternhaufen bestehen aus Tausenden von Fixsternen. Manche Sternhaufen sind unregelmäßig begrenzt, spindelförmig oder spiralig, andere scheinen riesige Kegel zu bilden, in deren Mitte die Sterne viel näher zusammenstehen, wie am Rande, und so finden wir alle Übergänge bis zu dem großen spiraligen Andromedanebel, den das Fernrohr noch nicht in einzelne Lichtpunkte zerlegen konnte, trotzdem uns der Spektralapparat beweist, daß er ein Sternhaufen sein muß.

Wir sehen also, daß die Verdichtung kosmischer Massen zu einzelnen Sterngebilden keineswegs normalerweise nach dem Typus unseres Sonnensystems erfolgt, und wir müssen dieses letztere als einen seltenen Spezialfall betrachten. Auch hier hat der geozentrische Standpunkt einer ver-

alteten Weltanschauung lange Zeit hindurch die Forschung auf einem falschen Wege erhalten.

Zugleich aber erhebt sich die andere Frage: ob die in unserem Sonnensysteme vorhandene Harmonie der Bewegungen eine gesetzmäßige Folge älterer einfacher Bewegungen sei, oder ob nicht vielleicht, wie dies du Prel⁷ schon früher vermutete, die jetzige Gruppierung der Planeten um die Sonne das Ergebnis zahlreicher Übergangstadien war, die ganz allmählich den regellosen Urzustand in geordnete Bahnen leiteten.

Unser Planetensystem besteht aus drei Gruppen von größeren Körpern, die in nahezu kreisförmigen Bahnen um die Sonne wandeln. Der Schwarm der etwa 600 Planetoiden trennt die vier inneren von den vier äußeren Planeten.

		Masse in Erden	spez. Gew.	Thermischer Zustand	Rotationsrichtung der Munde
Innere Planeten	Merkur	0,04	0,8	erkaltete Rinde und gasarme dünne Atmosphäre	←
	Venus	0,81	0,9		←
	Erde	1,00	1,0		←
	Mars	0,12	0,8		←
Planetoiden					
Äußere Planeten	Jupiter	309,61	0,23	Kern wahrscheinlich rotglühend, mit stark absorbierender Atmosphäre	←
	Saturn	92,65	0,12		←
	Uranus	14,74	0,25		→
	Neptun	16,47	0,14		→

Betrachten wir zuerst das spezifische Gewicht der planetarischen Massen, so sehen wir deutlich, daß die inneren Planeten vollkommen mit der Erde übereinstimmen, während die unter sich sehr gleichartigen äußeren Planeten aus wesentlich leichteren Massen bestehen.

Der von den Planetoiden erfüllte Zwischenraum bildet also auch eine Dichte-Grenze, und wir werden dadurch auf die Vermutung geführt, daß die beiden Planetengruppen aus verschiedenen Massenansammlungen entstanden sind. Wenn man aus der Dichte einen Schluß auf die genetischen Verhältnisse ziehen will, so ergibt sich, daß die Sonne (mit einer Dichte von 0,25) mit den Gliedern der äußeren Planetengruppe verwandt ist, obwohl sie jetzt den Mittelpunkt unseres Systems einnimmt.

Vergleichen wir nun die thermischen Verhältnisse, so ergibt sich dasselbe auffallende Resultat. Die inneren Planeten sind erkaltet, ihre gasarme Atmosphäre bietet für den Durchtritt der Sonnenstrahlen kein wesentliches Hindernis. Die äußeren Planeten aber sind mit einer dichten Dampfatmosphäre umgeben, welche zwar das Sonnenlicht auf ihrer Oberfläche reflektiert, aber zugleich bisweilen die dunkle Rotglut des wahrscheinlich noch heißen Weltkörpers hindurchschimmern läßt.

Diese widerspruchsvollen Tatsachen sucht Faye⁸ astronomisch zu erklären durch folgende Annahmen: Den Ausgangspunkt unseres Sonnensystems bildete eine nahezu kugelige, langsam rotierende Masse. Dieselbe verwandelte sich in einen abgeplatteten rotierenden Ring, der sich um einen stoffarmen Mittelpunkt drehte. Da hier die überwiegende Ansammlung anziehender Materie noch fehlte, konnten sich in dem Gasringe einzelne Wirbel bilden, welche im Sinne der allgemeinen Bewegung rotierend, sich langsam verdichteten, benachbarte Materie in sich aufnahmen und nacheinander einzelne Planeten bildeten. Merkur wäre dann zuerst entstanden, dann folgten Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn. Aber noch immer existierte die Sonne nicht, noch fehlte die zentrale anziehende Masse; ihre Substanz war in dem interplanetarischen Raume diffus verteilt und besaß noch kein dynamisches Übergewicht.

Allmählich verdichtete sich dieser noch übrigbleibende Stoff, kleinere und größere Massen wanderten nach dem Mittelpunkte des Systems, um sich hier zusammenzuballen, an der äußeren Peripherie aber schwebten zwei weite Nebelringe, und auch die übrigen Planetenmassen waren noch in einem Zustande, der die Bildung kleiner Ringe ermöglichte. Durch einen glücklichen Umstand ist eine Gruppe dieser Ringe noch bis heute erhalten geblieben und umkreist den Saturn, alle übrigen ballten sich zu einem oder mehreren Individuen zusammen und bildeten die Satelliten der verschiedenen Planeten.

Inzwischen aber wuchs die zentrale Masse der werdenden Sonne immer mehr; $\frac{600}{700}$ des gesamten Stoffes wurde daselbst zusammengeballt, das System bekam einen schweren Mittelpunkt und die sich zuletzt bildenden äußersten Planeten entstanden unter total verschiedenen Umständen wie ihre älteren Brüder.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, zu diesen schwierigen Problemen Stellung zu nehmen, aber die Frage mag noch berührt werden, ob unser Sonnensystem schon jetzt das Ende seiner Entwicklung erreicht hat, oder ob noch weitere Veränderungen wahrscheinlich sind; mit anderen Worten: ob der jetzige Zustand des Zentralkörpers einen Abschluß oder nur den Übergang zu anderen Stadien darstellt.

Ein normales Auge kann bei klarer Luft 5500 Fixsterne oder „Sonne“ zählen. Im Fernrohre erhöht sich ihre Zahl auf 65000000, und wenn wir das Licht derselben im Spektroskope zerlegen, dann können wir auch den thermischen und chemischen Zustand der Sterne beurteilen. Dabei ergibt sich nach Scheiner⁴, daß etwa die Hälfte aller Fixsterne mit weißblauem Lichte strahlt. Sie bilden die Sternklasse I. Ihre Temperatur ist weit über 7000° hoch. Ihr Spektrum ist kontinuierlich vom äußersten Rot bis zum äußersten Violett. Die deutlichen Linien des Wasserstoffes sprechen dafür, daß dieses Element in der Atmosphäre

überwiegt, während Helium, Natrium, Magnesium, Kalzium und Eisen eine geringere Rolle spielen.

Alle Übergänge leiten hinüber zu der Sternklasse II, deren Vertreter mit gelbem Lichte leuchten und etwa 7000° heiß sind. Das Spektrum ist an der violetten Seite lichtschwach und von zahllosen dunklen Linien durchzogen, in denen man mit Sicherheit Kalzium, Eisen, Wasserstoff, Natrium, Nickel, Magnesium, Kobalt, Silizium, Kupfer, Zink, Silber, Zinn, Blei, im ganzen gegen vierzig irdische Elemente nachgewiesen hat, während manche Stoffe, wie Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor, Brom, Chlor, Schwefel, Fluor, nicht sicher erkannt werden können.

Nur ein Achtel der sichtbaren Fixsterne gehört zur Klasse III. Sie haben eine orangegelbe oder rote Farbe. Ihre Temperatur beträgt $3000-4000^{\circ}$. In ihrer Atmosphäre sind schon chemische Verbindungen enthalten, besonders Kohlenwasserstoffe.

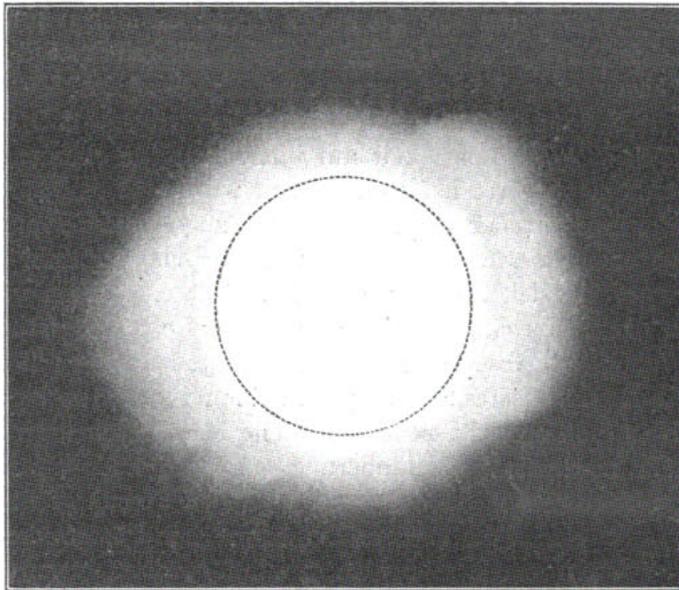
Obwohl damit die Grenzen der sichtbaren Sternenwelt erreicht sind, so ist doch höchst wahrscheinlich die Anzahl der (Klasse IV) völlig erkalteten Sterne am Firmamente eine ungeheuer große. Von einem anderen Sterne aus würde man in unserem Sonnensysteme nur den Zentralkörper, aber nicht die 600 Planeten, Planetoiden und Satelliten sehen können; viele Doppelsterne drehen sich um einen dunklen Begleiter, dessen Existenz man nur durch Berechnung nachweisen kann; Millionen von kleinen Weltkörpern werden für uns nur sichtbar, wenn sie als Meteore in die irdische Atmosphäre eintreten, und die sogenannten „neuen Sterne“ zeigen uns das vorübergehende Aufflammen eines Weltkörpers, der sich schon mit einer Kruste umgeben hatte.

Das eigentümliche Zahlenverhältnis der drei leuchtenden Sternklassen ist von Scheiner zu einer interessanten Gedankenreihe verwendet worden. Wenn nämlich die Hälfte aller Sterne zur ersten Klasse, drei Achtel zur zweiten und ein Achtel zur dritten Klasse gehören, so können wir schließen, daß die Weltkörper in dem weißleuchtenden Stadium am längsten beharren, im Stadium II einen fast ebenso langen Zeitraum verweilen, um dann ziemlich rasch zu erkalten und ihre Leuchtkraft einzubüßen. Unsere Sonne gehört zur Sternklasse II. Ihre Temperatur beträgt mithin nahe der Oberfläche noch etwa 7000° , während es ganz unmöglich ist, die riesenhohen Temperaturen im Innern des Sonnenballs auch nur annähernd zu taxieren.

Wenn wir die Sonne durch einen dünnen Wolkenschleier betrachten, so erscheint sie uns als eine völlig kreisrunde Scheibe. Aber wenn bei einer totalen Verfinsternung die Sonne abgeblendet wird und unser Auge die verhältnismäßig weniger hellen Randpartien betrachten kann, verschwindet die regelmäßige Kugelform (Fig. 11). Überall tauchen Unebenheiten (Protuberanzen) auf, die ihre Gestalt wandeln, und in denen

das Spektroskop glühenden Wasserstoff, Magnesium, Helium, Natrium, Baryum, Titan und Eisendämpfe entdeckt. Nach außen aber sehen wir dann eine mild leuchtende zarte Atmosphäre von ganz unregelmäßiger Begrenzung den Sonnenkern umgeben. Die Sonnenmaterie wird in der Korona so dünn, daß der Komet von 1843 sie ungehindert passierte, während nach dem Zentrum zu die Dichte beständig zunimmt.

Durch theoretische Erwägungen hat Schmidt⁸ gezeigt, daß in einem glühenden Gasballe, dessen Dichte von innen nach außen abnimmt, eine kugelförmige Ebene existiert, welche die Lichtstrahlung in der Weise



Figur 11.

Die Sonne, nach einer Aufnahme bei der totalen Sonnenfinsternis am 28. Mai 1900,
Der punktierte Kreis gibt den Umriß der leuchtenden Sonnenscheibe wieder.

beeinflußt, daß alle innerhalb dieser Ebene liegenden Teile sehr hell leuchten, während die außerhalb gelegenen Massen nur mit schwachem Lichte scheinen. Danach könnte der Gegensatz zwischen einer leuchtenden Sonnenkugel und einer darum gelegten dünnen „Atmosphäre“ gar nicht so scharf sein, und die Sonne wäre ein unregelmäßig gestalteter leuchtender Gasball, der von innen nach außen allmählich an Dichte abnimmt, und dessen wirklicher Durchmesser vielleicht dreimal so groß ist, als die uns wohlbekannte Sonnenscheibe.

Gegenüber den älteren Rechnungen von Thomson und Helmholtz, wonach die Sonne beständig kälter werden muß, und sich, um den

Wärmedifferenzen immer wieder zerklüfteter Planetoid sich allmählich in einen Schwarm kleiner Stücke zerlegen könne, welche als Kometen in stark exzentrischer Bahn um die Sonne kreisen und endlich von dieser oder von einem seine Bahn kreuzenden größeren Planeten völlig vernichtet werden müsse.

So ist also nicht nur die Erde, sondern ebenso die Sonne und wohl auch die meisten anderen Körper unseres Systems einem beständigen Wechsel unterworfen, und manche Perioden der geologischen Vergangenheit standen unter wesentlich anderen astronomischen Bedingungen wie die Gegenwart.

Verweise

¹ Kant, Naturgeschichte des Himmels, 1755. — ² Laplace, Exposition du système du monde, Note VII et dernière. — ³ Faye, Sur l'origine du monde, Paris 1896. — ⁴ Scheiner, Der Bau des Weltalls, Leipzig 1901. — ⁵ Seeliger, Sitzungsber. d. Kgl. Akad. d. Wissensch., München 1901 III. — ⁶ Th. J. J. See, Die Entwicklung der Doppelsternsysteme; Diss., Berlin 1892, S. 51. — ⁷ du Prel, Der Kampf ums Dasein am Himmelsgewölbe; 3. Aufl. u. d. T.: Entwicklungsgeschichte des Weltalls, Berlin 1884. — ⁸ Schmidt, Die Strahlenbrechung auf der Sonne, Stuttgart 1891. — ⁹ Ritter, Anwendung der mechan. Wärmetheorie auf kosmologische Probleme, Leipzig 1882, S. 29. — ¹⁰ d'Arloz, Sirius 1894, Bd. XXII, S. 72. E. Abbe das., S. 169.



4

Die Bildung des Mondes und die Meteoriten

In der Geschichte der Erde ist die Abtrennung ihres Satelliten ein einzigartiger und höchst bedeutsamer Vorgang. Hat doch damals, und nur in diesem einzigen Falle, die Erde Substanz verloren. Die Masse des Mondes ist ein Fünfzigstel derjenigen der Erde, seine Dichte beträgt 3,6, er ist also leichter als die Gesamterde, aber wesentlich schwerer als die Erdrinde. Daraus schließen wir, daß unser Planet zur Zeit der Mondbildung schon nach Dichtezonen geschichtet war; aber diese Schichtung war noch nicht so weit gediehen wie gegenwärtig, denn sonst würde das spez. Gewicht des Mondes, der doch unzweifelhaft aus einem äquatorialen Ringe der Erdoberfläche entstand, nur 2,5 schwer sein.

In einem Abstand von 385000 km umkreist der Mond in $27\frac{1}{8}$ Tagen seine Mutter und rotiert in nahezu derselben Zeit um seine Achse; daher wendet er uns immer dieselbe Seite zu; sein Tag beträgt also 14 Erdentage, dann folgt eine ebenso lange Nacht. Da der Mond ohne eine merkbare Atmosphäre, ungeschützt im kalten Weltenraum schwebt, muß am

Abend eine sehr intensive Abkühlung seiner durch die Sonne stark erhitzten Oberfläche eintreten. Die Vorgänge der physikalischen Verwitterung, die Zerklüftung aller Erhabenheiten, die Zerbröckelung polychromer zusammengesetzter Gesteine muß dort ebenso stark sein, wie in den trockensten Wüsten. Durch die jeden vierten Tag eintretende Sonnenfinsternis wird diese Wirkung noch gesteigert.

Mit der Atmosphäre fehlen dem Mond alle Erscheinungen der Luftströmungen, Winde, Sandschliffe, äolische Abtragung, ebenso fehlt das Wasser und damit fällt die wichtigste irdische Kraft der Talbildung dort weg. Allerdings ist die Schwerkraft auf dem Monde sechseinhalbmal geringer wie auf der Erde, daher werden sich die durch die Insolation erzeugten Schuttmassen nur ganz langsam nach den Niederungen bewegen, und die Möglichkeit viel höherer und steilerer Gebirgsabhänge ist dadurch gegeben. Besonders auffallend ist es, daß der Schwerpunkt des Mondes 59 km jenseits seines Mittelpunktes liegt; mit anderen Worten: der Mond trägt auf der uns zugewandten Seite eine verdickte Kappe.

Schon das bloße Auge erkennt auf dem Monde helle und dunkle Flächen. Aus dem Winkel,¹ unter dem polarisiertes Licht von den helleren Teilen zurückgeworfen wird, hat man geschlossen, daß diese die Beschaffenheit eines erstarrten Glasflusses haben. Die grauen Flächen, die man irrtümlicherweise als „Meere“ bezeichnet, sind dagegen höchstwahrscheinlich ungeheuerer Trümmerfelder, in welche die Felsmassen der Mondrinde unter dem Einfluß der Wärmeunterschiede zerfielen, und deren zerklüftete rauhe Masse daher das Sonnenlicht anders reflektiert.

Mit Hilfe des Fernrohres kann man auf dem Monde alle Oberflächenformen erkennen, die größer als 30 m sind; seine Gestalt ist daher verhältnismäßig besser bekannt als das Relief einer gleich großen Fläche der Erde.

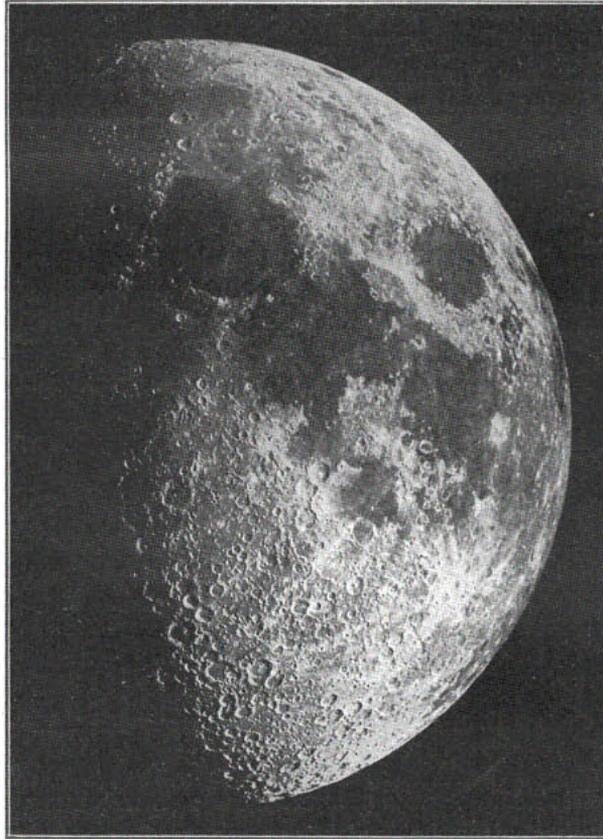
Man kann besonders folgende Formen unterscheiden:

1. Die Gebirgsketten, langgestreckte, meist flache Bergzüge, welche oft nur 100 m hoch, aber bis 300 km lang in unregelmäßigen Wellenlinien dahinziehen. Man gewinnt aus ihrer Anordnung den Eindruck, daß sie flache Schuttwälle sind, die aus der Zerstörung höherer, zufällig zusammenliegender Berge hervorgingen.

2. Die Rillen; flache Gräben von 1—2 km Breite, die sich als geradlinige, gelegentlich in scharfem Winkel abgelenkte Streifen bis 500 km weit verfolgen lassen.

3. Das größte Interesse aber beanspruchen die Ringberge, welche in allen Größen über die Mondoberfläche verteilt sind. Man zählt auf der uns zugekehrten Mondseite 33000 derselben (s. Fig. 12) und darf wohl nach ihrer Anordnung vermuten, daß sie auch die andere Mondhalbkugel bedecken. Ihr Durchmesser schwankt von 1—215 km; solche

von 40—80 km Breite sind am häufigsten. Sie stehen vereinzelt oder in ungeordneten Gruppen, oft einer vom andern umschlossen; aber nur selten läßt sich eine konzentrische Anordnung der Ringberge erkennen, meist (s. Fig. 13) sitzen kleinere ganz regellos innerhalb oder außerhalb des größeren Ringes, verzieren seine Abhänge und seinen Kamm, wobei die Form der kleineren Ringe sich stets deutlich von der ringförmigen



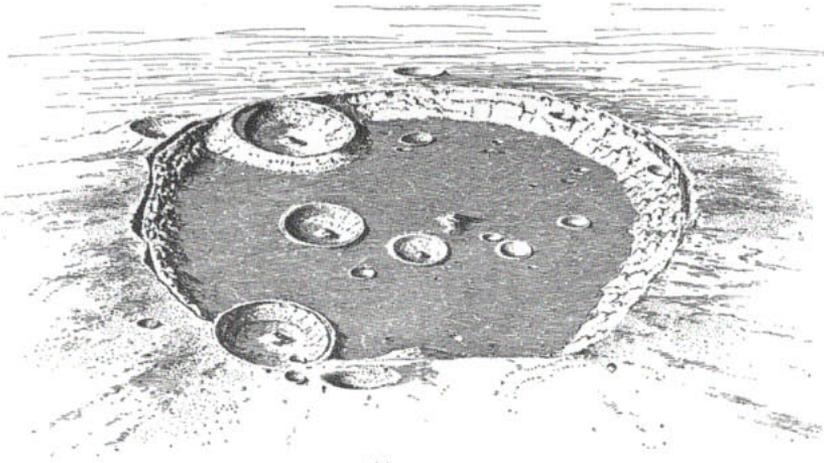
Figur 12.

Die Ringgebirge und Schuttebenen des Mondes.

Unterlage abhebt; niemals durchschneiden sie sich gegenseitig, und wo ein neuer Ring entstand, da wurde die Ringform des älteren verwischt. In manchen Fällen erhebt sich ein zackiges Felsengebirge mitten in einem Bergring, sonst ist die vom Ring umschlossene Ebene glatt und liegt in der Regel beträchtlich (bis zu 3000 m) tiefer als die umgebende Mondoberfläche. Niemals beobachten wir eine Talschlucht, welche den Wall kreuzte, und die Abhänge der Ringberge sind von so

starker Böschung, oft fast senkrecht gestaltet, daß man notwendig annehmen muß, sie bestehen aus festem Gestein und nicht aus lockerem Schutt. Die höchsten Ringberge ragen 7500 m hoch empor, sechs sind 6000 m hoch, 22 erreichen eine Höhe von 4500 m. Im Verhältnis zu dem kleinen Weltkörper sind das ganz gewaltige Niveauunterschiede. Die kleinsten Ringberge liegen unterhalb der Auflösungskraft des Fernrohres, und man kann also vermuten, daß noch zahllose ganz kleine Ringe über die Mondoberfläche verteilt sind.

Man pflegt die Ringberge des Mondes „Krater“ zu nennen und verbindet damit die Vorstellung einer vulkanischen Entstehung. In vielen Büchern wird ein stark verkleinertes Bild solcher Mondberge (gezeichnet nach einem Gipsmodell!) mit einem Zerrbild irdischer Vulkane



Figur 13.

Ringberg Cuvier auf dem Monde. (Durchmesser 228 km; Tiefe 3000 m.)

zusammengestellt. Diese völlig irreführende Darstellung unterdrückt wesentliche Eigenschaften beider Phänomene, und nur dadurch ist es zu erklären, daß man bisher die Ringberge des Mondes immer wieder für Vulkane halten konnte.

Ein irdischer Vulkan ist, wie wir später noch ausführlich zu behandeln haben, ein aufgeschütteter Kegelberg, der an seiner Spitze eine enge trichterförmige Öffnung, den Kraterschlund besitzt. Die äußere Böschung dieses Aschenkegels beträgt meist 10–15°, höchstens 32°, die Kratermündung hat steilere Wände, aber ihr Durchmesser ist meist nur einige hundert Meter; die größten tätigen Krater sind 1600 m breit.

Wenn aber ein solcher Vulkan lange Zeit erloschen ist und von den atmosphärischen Kräften bearbeitet wird, dann erweitert sich allmählich

die runde Kratervertiefung, besonders dann, wenn ihr Wall von einer tiefen Talrinne (Barranco) angeschnitten wird, durch welche fließendes Wasser das verwitterte Material heraustragen kann. So entstehen runde Kratertäler von 10—20 km Durchmesser.

In vulkanischen Gebieten tritt aber neben den tätigen Kraterschlünden und den erodierten Kratertälern noch eine dritte Kesselform auf, es sind die Explosionskrater, welche dadurch entstehen, daß ungeheure Dampfmassen durch die Erdrinde jagen und an deren Oberfläche eine tiefe Grube zurücklassen. Hierbei werden Kesseltäler von 3—20 km Durchmesser gebildet, die entweder trocken liegen oder von einem sogenannten Kratersee (Maar) erfüllt werden.

Auf dem wasserleeren und luftleeren Monde kann aber weder durch Abtragung noch durch Dampfexplosionen eine solche Unzahl großer und kleinster Ringgebirge entstanden sein, denn wir müßten dann die völlig unwahrscheinliche Annahme machen, daß der Mond noch vor kurzem eine Atmosphäre besessen habe. Aber selbst wenn wir dies annehmen und diese hypothetische Lufthülle wieder verschwinden ließen, so könnten wir doch nicht erklären, warum die innere Ringebene 3000 m tiefer liegt als die Mondoberfläche, warum die Ringberge so steil sind, warum kleinere Ringe ganz regellos die größeren überlagern und deren Form neu geprägt haben.

Vom Standpunkte des Geologen muß man also die Annahme zurückweisen, daß die Ringberge des Mondes ebenso entstanden sind, wie die irdischen Vulkane, denn die Eigenschaften beider Bergformen sind grundverschieden.

Nur eins muß betont werden: die Ringberge sind eine so bezeichnende und häufige Oberflächenform des Mondes, daß jede Theorie über seine Bildung diesen Tatsachen Rechnung tragen muß.

Die Untersuchungen von G. H. Darwin² haben eine Anzahl höchst wichtiger Tatsachen über die Entstehungsgeschichte des Mondes und die Zustände der Erde zur Zeit der Mondbildung ergeben:

Bekanntlich erzeugt der Mond auf den flüssigen Teilen der Erde einen Flutberg, und dieser reibt sich auf der unter ihm rotierenden Erde. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft muß hierbei eine Arbeitsleistung vollbracht werden, welche die Umdrehung der Erde verlangsamt, d. h. den Tag verlängert. Der Betrag dieser Verzögerung ist gegenwärtig sehr gering. Eine vor 3000 Jahren beobachtete Sonnenfinsternis läßt sich mit einer kleinen Fehlergrenze auf Grund der jetzigen Verhältnisse zurückberechnen. Aber eine geringe Abweichung bleibt bestehen, die sich mit einer Verlängerung des Tages leicht erklären läßt. Darwin hat nun wahrscheinlich gemacht, daß die Gezeitenreibung in der Vergangenheit unverhältnismäßig größer war. Als der Mond um die Hälfte der Erde näher stand, war die Gezeitenreibung 64 mal größer. Solange er um

ein Viertel des jetzigen Abstandes von der Erde entfernt war, mußte sie 4096 mal so stark wie jetzt sein.

Indem wir rückwärts in die Vergangenheit schauen, kommen wir endlich zu einem Anfangszustande, bei welchem der Mond noch fast einen Teil der Erdoberfläche bildete. Die Erde drehte sich in vier Stunden um ihre Achse, statt der jetzigen Tageslänge von 24 Stunden, und diese riesige Rotationsgeschwindigkeit war hinreichend, um Teile der Erdoberfläche abzureißen. „Es übersteigt die Macht der mathematischen Berechnung, die Einzelheiten dieser Zerreißung zu verfolgen.“ Darwin vermutet, daß eine auf der noch flüssigen Erde erzeugte Sonnenflut die Ursache der Lostrennung äquatorialer Massen gegeben habe. Aber es ist wahrscheinlich, daß sich eine größere Anzahl von Stücken vom Äquator abtrennten, die sich erst später zu dem jetzigen Monde vereinigten. „Das System muß eine Periode allgemeiner Verworrenheit durchschritten haben, ehe mit der Bildung eines einzigen Satelliten wieder Ordnung hergestellt wurde.“

Die Mondmasse bewegte sich anfangs in der Ebene des Erdäquators, in naher Entfernung an der Erde hin, und wir müssen annehmen, daß der Mond etwas langsamer umlief, als sich die Erde drehte. Die dadurch veranlaßte Gezeitenreibung verminderte die Umdrehungszeit der Erde erst rasch, dann immer langsamer, der Mond aber wurde gleichzeitig gezwungen, von der Erde schraubenförmig zurückzuweichen und eine immer größere Bahn zurückzulegen. Es verlängerte sich der vierstündige Tag und der anfangs vierstündige Monat immer mehr und mehr. Doch der Monat nimmt viel schneller zu, bis er ungefähr 29 Tage erreicht hat. Darwin zeigt, daß dieser Zustand ein Wendepunkt in der Geschichte der Erde sein mußte; denn jetzt nimmt der Monat langsamer zu, während sich die Zahl der Umdrehungen der Erde rascher vermehrt; der Mond gewinnt einen Vorsprung vor der Erde, und die Zahl der Tage im Monat nimmt verhältnismäßig ab. Unser gegenwärtiger Monat von $27\frac{1}{3}$ Tag entspricht vielleicht schon dieser zweiten Phase in der Geschichte von Erde und Mond, und das Endresultat dieser Gezeitenreibung wird sein, daß Mond und Erde sich umeinander drehen, als ob sie einen einzigen Körper bildeten; der Tag wird 55 Tage lang sein, und die Länge des Monats wird denselben Betrag erreichen —.

Während so der Mond auf der Erde wesentliche Veränderungen von Tag- und Nachtlänge hervorrief, bewirkte umgekehrt auch die Erde auf dem Monde entsprechende Veränderungen. Solange die Mondmasse noch glühend heiß war, mußten enorme Flutberge in der flüssigen Gesteinsmasse erzeugt werden. Da der Mond sich schneller um seine Achse drehte, war die Gezeitenreibung sehr groß. „Der Mond drehte sich langsamer und langsamer, bis seine glutflüssige Oberfläche erstarrte, und die von der Erde auf dem Monde hervorgerufene Flut erstarrte

ebenfalls, so daß der Äquator des Mondes nicht ganz kreisförmig, und die längere Achse gegen die Erde gerichtet ist.“

Verfolgen wir nun die weiteren Schicksale der Stücke, welche sich zu Beginn der Mondbildung von der Erdoberfläche abtrennten und wahrscheinlich als ein Ring großer und kleiner Massen die Erde umkreisten.

Solange man die Ringberge des Mondes nach Analogie irdischer Vulkane durch eine von innen nach außen wirkende eruptive Kraft zu erklären versuchte, blieben eine ganze Anzahl wichtiger Tatsachen unverständlich. Die bei jeder Vulkanbildung tätigen Gase und Aschenwolken fand man nicht, die glasige Oberfläche der Ringberge war unvereinbar mit der Annahme, daß sie aus lockeren Auswurfmassen bestanden, ihr Durchmesser überstieg alle Verhältnisse, die man bei irdischen Vulkanen findet, und das Durchschneiden kleiner und großer Ringberge widersprach ebenfalls der herrschenden Vulkantheorie. Unbefangen urteilende Beobachter hatten daher immer wieder darauf aufmerksam gemacht³, daß man die Ringberge des Mondes auch durch von außen her aufstürzende Massen erklären könne; aber diese Ansicht wurde nicht recht beachtet und bekannt, obwohl man durch verschieden angeordnete Experimente übereinstimmend dasselbe Resultat erhält:

Wenn man kleine Mengen von trockenem Mehl auf eine glatt gestrichene Mehlfläche oder halbflüssigen Ton aus 2 m Höhe auf eine ebensolche Tonfläche fallen läßt, oder wenn man einen weichen Gummiball auf ein mit Staub bedecktes Brett wirft, oder endlich indem man auf eine Wasseroberfläche eine 1 mm dicke Schicht Bärlappmehl streut und aus 1 m Höhe Wassertropfen herabfallen läßt, so entstehen Ringberge, welche so sehr in allen Einzelheiten mit den Mondbergen übereinstimmen, daß man zu der Annahme einer ähnlichen Entstehungsweise derselben gedrängt wird.

Astronomische Rechnungen hatten G. H. Darwin zu der Annahme geführt, daß unser Mond ursprünglich aus einer Anzahl getrennter Stücke bestand; G. K. Gilbert zeigt nun in überzeugender Weise, wie diese Stücke allmählich den Mond bildeten. Im Laufe der Zeiten zog der größte derselben die kleineren Massen an sich heran und fügte sie seiner Masse zu. Durch den Zusammenstoß dieser Weltkörper wurde jedesmal so viel Wärme frei, daß der inzwischen erkaltete Satellit wieder flüssig wurde. Der Massen-Gegensatz zwischen dem Hauptmonde und seinen kleineren Brüdern wurde immer größer, und diese konnten schließlich nur noch die Fläche zum Schmelzen bringen, auf welche sie auffielen. Während sie selbst verflüssigt wurden, entstand eine kreisförmige Welle in der geschmolzenen Oberfläche des Mondes, die, rasch wieder erstarrend, als Ringgebirge zurückblieb. So vergrößerte sich der Mond durch kleinere Massen vom Weltenstoff, die mit ihm die Erde umkreisten und von dem

größeren Bruder allmählich aufgezehrt wurden, gerade wie kleinere Quecksilberkügelchen mit einem größeren Tropfen zusammenfließen, sobald sie ihn berühren. Die Rillen aber könnte man als langgezogene Schußwunden sehr schräg auffallender Projektile (Streifschüsse) betrachten.

So zeigt uns der Mond in ausdrucksvoller Lapidarschrift, welche große Zahl von kleineren Weltkörpern dereinst unsere Erde umkreisten und wie der interplanetarische Raum des Sonnensystems schon seit undenklichen Zeiten immer leerer geworden ist.

Wie dieser Vorgang jetzt noch weitergeht, das lehren uns die Meteoriten, welche auf die Erde herabfallen. Während unsere Erde nur einmal Masse verloren hat, ist ihre Massenzunahme durch Herabstürzen meteorischer Massen bis in die Gegenwart zu verfolgen. Die Störungstheorie⁶ läßt 5" in der mittleren Mondbewegung unerklärt. Wenn wir aber annehmen, daß in zweihundert Jahren eine Schicht von 1 mm Meteorstaub auf die Erde fällt, so würde jene Differenz zwischen Beobachtung und Theorie leicht verständlich sein.

In der Regel sehen wir nur die optischen Erscheinungen in den sogenannten Sternschnuppen, Meteoren und Feuerkugeln. Sobald die in den interplanetarischen Räumen in komplizierten Kurven um die Sonne rotierenden dunkeln Massen von Weltenstoff in die Nähe der Erde kommen, werden sie von dieser angezogen. Die meisten Sternschnuppen beginnen in einer Höhe von 95 km sichtbar zu werden, doch hat man einzelne Lichtpunkte gelegentlich im Fernrohr schon in größerer Höhe aufleuchten sehen. Besonders häufig sind die kleinen, teleskopischen Sternschnuppen, aber größere werden ebenfalls das ganze Jahr hindurch beobachtet. Gewisse Zeiten sind besonders reich, wir sprechen dann von Sternschnuppenschwärmen. Solche beobachtet man:

2.—3. Januar	15.—23. Oktober
5.—11. April	12.—14. November (Leoniden)
25.—30. Juli	27.—29. November
8.—12. August (Perseiden)	6.—13. Dezember.

Die Lichterscheinungen sind der Ausdruck dafür, daß dunkle Massen in die irdische Atmosphäre gelangen, hier schmelzen und verbrennen.

Die feinen Stäubchen, welche von den meteorischen Massen abgelöst werden, die die Atmosphäre mit einer Geschwindigkeit bis zu 40 km pro Sekunde durchheilen, mischen sich auf der Erde mit dem irdischen Staube, den hohe Tromben emporwirbeln oder vulkanische Eruptionen in die Lüfte jagen, so daß es meist unmöglich ist, den meteorischen Ursprung jener Beimengungen zu erkennen. Aber auf den Schneefeldern der Polargebiete und den weichen eisenarmen Sedimenten der Tiefsee



Figur 14.

Der Meteorit von Stannern. Seine Oberfläche zeigt eine geschmolzene schwarze Rindenschicht, bedeckt mit kleinen verästelten Rinnen und Rillen, die, strahlenförmig angeordnet, von einzelnen Vorsprüngen nach dem Rande verlaufen.



Figur 15.

Nachahmung der Oberfläche eines Meteoriten durch die Wirkung eines Dampfstrahles auf Kolophonium.

hat man gelegentlich beträchtliche Mengen von kosmischem Staub nachweisen können.

Nur dann, wenn die Meteore ursprünglich so groß waren, daß nach dem Durcheilen der irdischen Atmosphäre ein ungeschmolzener Rest übrig blieb, haben wir Gelegenheit, die Beschaffenheit* jener kleinen Weltkörper zu untersuchen.

Man unterscheidet⁷ je nach ihrer wesentlichen Zusammensetzung Eisenmeteoriten (Siderite), Steinmeteoriten (Chondrite) und Glasmeteoriten (Tektite), aber diese verschiedenen Gruppen sind durch allmähliche Übergänge verbunden.

Die petrographische Untersuchung von mehreren hundert Meteoriten hat ergeben, daß sie vorwiegend aus Mineralien bestehen, welche in den Gesteinen der Erdkruste selten sind, oder ganz fehlen. Ihr Aufbau aus kugeligen Gebilden (Chondren), die stark rissige Beschaffenheit der Silikate, das Vorwiegen von Glassubstanz in den Kristallen, ihr lückenvolles Wachstum sind so bezeichnend für die Meteoriten, daß man sie mit keiner irdischen Felsart verwechseln kann.

Mehr als die Hälfte aller bekannten Meteoriten gehört zu den steinigen Chondriten; bei dem Fall von Long Island wurden 3000 Stück mit einem Gesamtgewicht von 564 kg gefunden, bei Pultusk fand man tausend erbsengroße Stückchen, so daß man hier von einem „Steinschauer“ sprechen konnte. Die Eisenmeteoriten fallen meist in großen, einzelnen Stücken, deren Gewicht bei Ranchito 50000 kg betrug, während bei Cañon Diablo einige bis 50 kg schwere Blöcke und viele kleine, nur 2 g schwere Stücke mit einem Gesamtgewicht von 4122 kg gesammelt wurden.

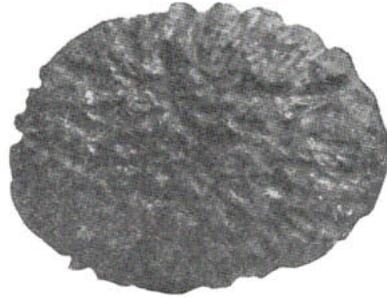
Sehr selten sind die Fälle von Glasmeteoriten. Ein mittelmiozäner Steinregen überstreute die Moldauniederung und die dort gefallenen dunkelgrünen, mit eigentümlichen Blatternarben bedeckten Glassteine (Moldavit; s. Fig. 16) boten lange Zeit ein ungelöstes Rätsel, bis ihre außerirdische Herkunft bewiesen wurde. Diluviale Fälle sind aus dem Sundaarchipel und Australien bekannt geworden. Besonders interessant⁹ ist ein am 24. Januar 1904 bei Igart-Halle gefallener Glasstein.

Die mineralogische Zusammensetzung der Meteoriten beweist, daß sie ohne Zutritt von Wasser und Sauerstoff gebildet worden sind. Der

* Obwohl es für den Geologen, der den Bau der Erdkruste kennt, eine ganz unmögliche Vorstellung ist, daß die linsenförmig in der Lithosphäre auftretenden Salzlagen oder gar die Kohlschichten und Granitstöcke einmal als Meteoritenmassen auf die Erde herabgefallen seien, so erfreut sich diese phantastische Ansicht in weiten Kreisen doch ebenso großer Geltung, wie man neuerdings versucht, die Entstehung von ganz Australien durch einen riesigen Meteorfall zu erklären. Wir müssen daher betonen, daß diese abenteuerlichen Ansichten allen geologischen Tatsachen ins Gesicht schlagen und nicht ernsthaft widerlegt zu werden brauchen.

Aufbau der Mineralien spricht für eine überhastete Kristallisation und die Ähnlichkeit der weit verbreiteten Chondren mit Hagel- und Graupelkörnern läßt an eine von vielen Meteoritenforschern vermutete Bildung aus rasch verfestigten glühenden Gasen denken.

Wir dürfen annehmen, daß viele Meteoriten Verdichtungen des bei der Bildung der Planeten nicht völlig aufgebrauchten Stoffes unseres Sonnensystems sind. Die ursprünglichen Dimensionen dieser im interplanetarischen Raume umherirrenden Körper sind jedenfalls sehr verschieden gewesen, wie man mit großer Wahrscheinlichkeit auch aus ihrer mineralogischen Zusammensetzung erschließen kann. Wissen wir doch, daß bei rascher Abkühlung vulkanischer



Figur 16.
Moldavit von Mohelno.

Magmen eine glasartige Substanz entsteht, während bei langsamer Erkal tung eine sehr weitgehende Sonderung der chemisch und physikalisch verschiedenen Bestandteile des ursprünglichen Glasgemisches erfolgt. In den Gasmeteoriten erblicken wir das Produkt einer sehr raschen Erstarrung, wie sie besonders bei kleinen Zusammenballungen von Weltstoff entstehen müssen. Die weitverbreiteten Glaseinschlüsse in vielen Meteoriten weisen darauf hin, daß auch ihre kristallinische Substanz aus einem früheren Glasgemisch ausgeschieden worden ist. Eine in irdischen Laven nicht beobachtete, aber bei Meteoriten besonders charakteristische Erstarrungsform sind die schon genannten, etwa hirsekorngroßen Kügelchen (Chondren), welche in den Steinmeteoriten weit verbreitet vorkommen. Olivin, Augit, Bronzit, Feldspat und Eisen sind besonders häufig in Chondrenform ausgebildet.

Es scheint, daß die in größeren Weltkörpern so reichlich vorhandenen gasförmigen Stoffe aus diesen kleinen Massen so rasch entwichen, daß sie bei ihrer Erstarrung keine Rolle spielen konnten. Bei den größeren Meteormassen kam es aber zugleich zu einer weitgehenden Sonderung eisenarmer leichter und eisenreicher schwerer Mineralien. Diese sammelten sich im Kern, jene an der Oberfläche des kleinen Weltkörpers. In der Übergangszone entstanden die sogenannten Pallasite, bei denen das Nickeleisen ein lockeres Netzwerk bildet, erfüllt mit steinartigen Kieselsäureverbindungen.

Übereinstimmend mit dieser Ansicht hatte schon Daubrée⁹ darauf hingewiesen, daß nach seinen Experimenten die Steinmeteoriten sehr rasch abgekühlt worden sein müssen, während Vogel¹⁰ für die Eisenmeteoriten eine sehr langsame Kristallisation annehmen zu sollen glaubt.

Mit wechselnder Geschwindigkeit und in ziemlich regelloser Verteilung irren alle diese glasigen, steinartigen oder metallischen Massen durch den interplanetarischen Raum, und sobald sie in den Anziehungsbereich der Sonne oder eines Planeten kommen, stürzen sie demselben entgegen, um entweder in seiner Atmosphäre mit hellem Glanze verbrannt zu werden, oder als seltsamer Himmelsstein herabzufallen. Der schwarze Stein, der vor langen Jahrhunderten in Arabien zur Erde fiel, wird, in die Kaaba eingemauert, von Millionen verehrt, und bis zum heutigen Tage hat auch die wissenschaftliche Erforschung dieser seltsamen Fremdlinge uns immer neue Wunder enthüllt.

Verweise

¹ Landerer. *Compt. rend. de l'Acad. Paris*, Bd. 90, S. 210. — ² G. H. Darwin, *Ebbe und Flut*, sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem, 1902, Kap. XVI. — ³ K. L. Althaus, *Weltkörperbildung und geologische Probleme*, 1839; Gruithuisen, *Naturwissenschaftl.-astronom. Jahrbuch*, München 1848; R. Prokter, *The Moon*, 1873, S. 346; A. Meydenbauer, *Kant oder Laplace*, Marburg 1880; H. u. A. Thiersch, *Die Physiognomie des Mondes*, Augsburg 1883; G. K. Gilbert, *The Moon's Face*, *Philos. Soc. Washington, Bull.* XII, Dez. 1892; E. Althaus, *Über Versuche, die eigentümliche Gestaltung der Mondoberfläche zu erklären*, *Gaea* 1895; H. Alsdorf, *Experimentelle Darstellung von Gebilden der Mondoberfläche*, *Gaea* 1898, I S. 35, II S. 105, III S. 139. — ⁴ Klein, *Petermanns Geogr. Mitteil.*, Bd. XXVIII, S. 207. — ⁵ Archenhold, *Das Weltall*, 1904, Bd. V, S. 211. — ⁶ Seeliger, *Sirius*, Bd. 19, S. 81. — ⁷ Nach Cohen, *Meteoritenkunde*, Stuttgart 1894—1903, und F. E. Sueß, *Die Herkunft der Moldavite*, *Jahrb. d. K. k. Geol. R.-Anstalt*, Wien 1900. — ⁸ Brezina, *Anz. d. k. k. Akad. d. Wissensch.*, Wien 1904, S. 41. — ⁹ Daubrée, *Compt. rend. de l'Acad. Paris*, 1893, S. 345. — ¹⁰ Vogel, *Mitteil. des Naturwissenschaftl. Vereins Düsseldorf* 1895, III S. 46.



5

Die Bildung und Veränderung der Erdrinde

Als sich die Mondmasse von der Erdmasse sonderte, besaß die Erde höchstwahrscheinlich ein größeres Volumen. Der heutige Gegensatz im spezifischen Gewichte der Erdrinde und des Erdkerns hat sich erst seit jener Zeit ausgebildet. Der heiße Gasball rotierte in drei bis fünf Stunden um seine Achse und wegen dieser sechsmal größeren Umdrehungsgeschwindigkeit bildete er wahrscheinlich ein stark verbreitertes Rotationsellipsoid; erst mit der Zunahme des Tages näherte sich die Form dieses Gasballes immer mehr der Kugelgestalt.